

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MILENE PEREIRA TOLEDO

**AS INFLUÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS NA EVOLUÇÃO  
DA GESTÃO DA QUALIDADE**

JUIZ DE FORA

2024

MILENE PEREIRA TOLEDO

**AS INFLUÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS NA EVOLUÇÃO  
DA GESTÃO DA QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D.Sc. Clarice Breviglieri Porto

JUIZ DE FORA

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Toledo, Milene Pereira.

As influências da Indústria 4.0 e suas tecnologias na evolução da Gestão da Qualidade / Milene Pereira Toledo. -- 2024.

45 p.

Orientador: Clarice Breviglieri Porto  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2024.

1. Indústria 4.0 . 2. Qualidade 4.0 . 3. Gestão da Qualidade . I. Porto, Clarice Breviglieri, orient. II. Título.

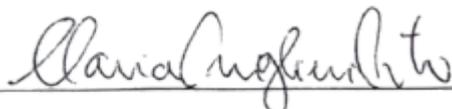
MILENE PEREIRA TOLEDO

**AS INFLUÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS NA EVOLUÇÃO  
DA GESTÃO DA QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

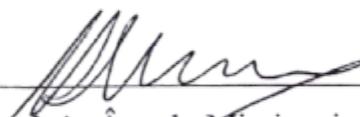
Aprovada em 25 de setembro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**



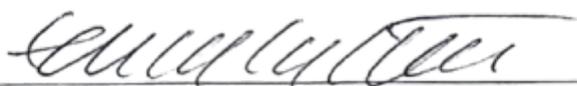
D.Sc. Clarice Breviglieri Porto

Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc. Antônio Ângelo Missiaggia Picorone

Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Universidade Federal de Juiz de Fora

## AGRADECIMENTOS

Neste momento especial, tenho muito que agradecer e expressar minha profunda gratidão àqueles que me apoiaram nesta trajetória.

Primeiramente, agradeço a Deus, por toda orientação e amparo. A fé, a saúde e a sabedoria que me guiaram ao longo deste caminho foram verdadeiras luzes em cada etapa deste estudo. A cada desafio, foi mostrando que seria possível e alcançável, e com isso consegui aprender com cada conquista.

À minha orientadora, Clarice Porto, dedico minha mais sincera gratidão. Sua orientação foi essencial para o sucesso deste projeto. Com paciência, motivação e dedicação, me guiou em cada fase, oferecendo suporte e compartilhando seu conhecimento. Mais do que uma orientadora, você foi uma amiga nesta caminhada, sempre disposta a ajudar lado a lado.

À minha querida família, e ao meu namorado, ofereço um agradecimento mais do que especial. Vocês estiveram presentes em todos os momentos comigo, partilhando sonhos, angústias e conquistas. Suas orações e apoio foram a força que me sustentou, e motivou a continuar. Obrigada por acreditarem em mim e por serem minha base forte que me incentiva a seguir os próximos passos.

Por fim, meus colegas e amigos, que também estiveram comigo nessa jornada, agradeço por terem compartilhado vários momentos de aprendizado e conquista.

A todos vocês, minha eterna gratidão. Este trabalho é o resultado de um esforço compartilhado, e cada um de vocês ocupa um lugar especial em meu coração. Obrigada por tornarem possível essa conquista.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da Indústria 4.0 e suas tecnologias na gestão da qualidade, introduzindo o conceito de Qualidade 4.0. A pesquisa explora as principais tecnologias associadas à Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Inteligência Artificial (IA) e sistemas ciberfísicos (CPS), e como elas podem transformar os processos de produção e controle de qualidade. A adoção dessas inovações tecnológicas oferece às empresas oportunidades para aumentar a eficiência operacional, reduzir danos e melhorar a competitividade no mercado global. Além disso, o estudo aborda os desafios da implementação, como a modernização de sistemas legados e a necessidade de capacitação da força de trabalho. Conclui-se que, apesar dos obstáculos, a Qualidade 4.0 oferece um potencial transformador para a gestão da qualidade, promovendo a digitalização e a integração dos processos produtivos, resultando em ganhos expressivos em eficiência e conformidade com os requisitos dos clientes.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Qualidade 4.0; Gestão da Qualidade.

## **ABSTRACT**

The present work aims to analyze the influence of Industry 4.0 and its technologies on quality management, introducing the concept of Quality 4.0. The research explores the main technologies associated with Industry 4.0, such as the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI) and cyber-physical systems (CPS), and how they can transform production and quality control processes. Adopting these technological innovations offers companies opportunities to increase operational efficiency, reduce damage and improve competitiveness in the global market. Furthermore, the study addresses implementation challenges, such as the modernization of legacy systems and the need to train the workforce. It is concluded that, despite the obstacles, Quality 4.0 offers transformative potential for quality management, promoting the digitalization and integration of production processes, resulting in significant gains in efficiency and compliance with customer requirements.

Keywords: Industry 4.0; Quality 4.0; Quality Management.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Avanços Industriais e Evolução da Qualidade 4.0

Figura 2 – Processo de aplicação do Prisma

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Protocolo de Pesquisa

Quadro 2 – Propostas de valor para qualidade 4.0

Quadro 3 – Artigos selecionados

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

AR: REALIDADE AUMENTADA

CEP: CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

CPS: CYBER PHYSICAL SYSTEM

IA: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

IoS: INTERNET OF SERVICES

IoT: INTERNET OF THINGS

PRISMA: PREFERRED REPORTING ITEMS FOR SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSES

SGQ: SISTEMAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

TI: TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

TQM: TOTAL QUALITY MANAGEMENT

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2. JUSTIFICATIVA	13
1.3. ESCOPO DO TRABALHO	14
1.4. ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS	14
1.5. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	15
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2. A QUALIDADE E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0</b>	<b>18</b>
2.1. ERAS DA QUALIDADE	18
2.1.1. A ERA DA INSPEÇÃO DA QUALIDADE	18
2.1.2. A ERA DO CONTROLE DA QUALIDADE DO PROCESSO	19
2.1.3. A ERA DA GARANTIA DA QUALIDADE	19
2.1.4. A ERA DO GERENCIAMENTO ESTRATÉGICO DA QUALIDADE	19
2.2. QUALIDADE 4.0	20
2.3. SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE ISO 9001:2015	23
2.4. INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS	24
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>26</b>
<b>4. DESENVOLVIMENTO</b>	<b>31</b>
4.1. ADOÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE	32
4.2. IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES NA GESTÃO DA QUALIDADE	34
4.3. DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DA QUALIDADE 4.0	36
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>38</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No final do século XVIII, teve início a primeira revolução industrial com a implantação de equipamentos de fabricação mecânica, como por exemplo o tear mecânico. Na sequência surgiu a segunda revolução, no princípio do século XX, onde se desenvolveu a produção em massa de bens movidos a eletricidade com base na divisão do trabalho. Em seguida, a terceira revolução começou no início dos anos de 1970, incorporando a eletrônica e a TI (Tecnologia da Informação) para alcançar uma maior automação dos processos de fabricação, já que as máquinas assumiram não apenas uma proporção substancial do “trabalho manual”, mas também parte do “trabalho intelectual” (Paladini,2012).

Desta forma, a qualidade também foi evoluindo perante as revoluções, interferindo no panorama mundial onde aumentou muito a concorrência entre as empresas e, por isso, entregar produtos com a qualidade requerida pelo cliente final tornou-se um fator imprescindível para a sobrevivência de todos os centros produtivos. Para se ter produtos de qualidade e processos produtivos mais eficientes tornou-se necessário a implantação de uma filosofia da qualidade nas empresas (Bassan, 2018).

Com o passar dos anos o controle da qualidade passou a ser um foco de estudo muito valorizado no mundo industrial e corporativo e passou a contar com o auxílio de ferramentas de estatística, sistemas de medidas e de normas específicas de padronização. Vários modelos e programas de Gestão da Qualidade foram desenvolvidos e implantados em diferentes partes do mundo, lidando com diferentes realidades produtivas (Paladini, 2012).

Em 2016, Schwab (2016) relatou a existência de uma nova revolução que iria alterar profundamente a forma de viver, de trabalhar e das pessoas se relacionarem. A revolução citada pelo autor trata-se da quarta revolução industrial ou Indústria 4.0: um novo modelo de produção industrial que através de tecnologias avançadas visa fundir o espaço físico com o virtual promovendo aumento de flexibilidade, produtividade e qualidade de produção. As consequências, porém, vão além e irão afetar a sociedade atual nos âmbitos políticos, econômicos e sociais.

A indústria 4.0 surgiu na Alemanha no ano de 2011, por meio de um conjunto de iniciativas e recomendações para o desenvolvimento tecnológico do país, com a participação de diversas esferas da sociedade, tais como governo, empresas privadas, instituições de ensino e pesquisa, centros de desenvolvimento tecnológico público e privado (Santos, 2018).

No contexto da gestão da qualidade, é fundamental garantir a conformidade dos produtos e serviços oferecidos, bem como buscar a melhoria contínua dos processos (ISO, 2015). A indústria 4.0 proporciona ferramentas e técnicas que podem impulsionar esses objetivos. A norma NBR ISO 9001:2015, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece os requisitos para um sistema de gestão da qualidade (ABNT, 2015). A indústria 4.0 pode ser vista como uma oportunidade para aprimorar o cumprimento desses requisitos, por meio da automação de processos, coleta e análise de dados em tempo real e tomada de decisões baseadas em informações precisas (Bretschneider *et al.*, 2017).

Com base no exposto acima, este trabalho pretende avaliar por meio de uma revisão sistemática da literatura, como a indústria 4.0 e suas ferramentas estão impactando a gestão da qualidade. O estudo é apresentado, além desta seção introdutória, por uma seção que revisa os principais conceitos que apresentam a relação entre a Gestão da Qualidade e a Indústria 4.0, pela metodologia aplicada para identificação das publicações, a análise dos dados e finalizada com as considerações finais.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A escolha do tema pela autora se deve ao interesse pela Gestão da Qualidade ao longo da sua trajetória acadêmica. E voltado para esta área um dos estudos que vem tendo grande importância é a influência da Qualidade na Indústria 4.0. Com isso, tem-se a transformação digital que leva em consideração o surgimento de novas tecnologias, as quais interferem em todo o processo produtivo e modificam as relações de trabalho. Ademais, tendo em vista que as revoluções industriais anteriores trouxeram impactos significativos para área da qualidade.

A transformação digital se trata de um processo no qual as empresas precisam se adaptar a um novo cenário tecnológico, o que evidencia alguns desafios nesse processo de transição. Sendo assim, dentre esses desafios pode-se considerar a implantação de novas tecnologias ao sistema produtivo, a capacitação da equipe para sua utilização e até mesmo uma melhoria na infraestrutura da empresa.

Além disso, vale também ressaltar que o tema contribui complementando os ensinamentos obtidos durante o curso de Engenharia de Produção, permitindo uma compreensão mais ampla sobre o currículo do curso e as habilidades técnicas necessárias ao futuro engenheiro.

Dessa forma, o estudo tem o propósito de disseminar o conhecimento acerca da engenharia de qualidade, e a indústria 4.0 que está presente em diversas áreas da Engenharia de Produção e de como estas se relacionam, bem como apresentar os benefícios e os desafios que a Indústria 4.0 proporciona para a Gestão da Qualidade. Como também, o presente trabalho poderá gerar impacto difundindo as informações no meio acadêmico, possibilitando que mais estudantes conheçam as relações desses dois pilares da Engenharia de Produção.

### 1.3. ESCOPO DO TRABALHO

Neste trabalho, foi empregado uma pesquisa com o uso de referências bibliográficas que correlaciona a Gestão da Qualidade com a Indústria 4.0. O estudo teve o intuito de compreender as implicações que a nova revolução industrial irá influenciar na Gestão da Qualidade. Assim, foi realizado um estudo na literatura acadêmica nacional e internacional presente no periódico Capes e no Google Acadêmico, tendo como objetivo compreender a evolução da Gestão da Qualidade e as revoluções industriais, bem como suas relações e impactos. Sendo que, foi realizada uma busca em conteúdos mais recentes e atualizados, por se tratar de assunto que está sempre se atualizando. A pesquisa irá considerar os últimos 06 anos de publicação.

No âmbito da Indústria 4.0 foi analisado quais são as características dessa nova revolução industrial e suas tecnologias tais como *Big Data Analytics*, *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS), *Cyber Physical Systems* (CPS), Manufatura Aditiva/Impressão 3D, Realidade Aumentada (AR), Inteligência Artificial (IA), Robótica Avançada e *Cloud Computing*. Já em relação a Gestão da Qualidade, foi identificado as eras pela qual essa área passou e as especificidades de cada uma, evidenciando como as revoluções industriais impactaram na gestão da qualidade.

Além disso, foi apresentado os princípios da ISO 9001:2015, para entender melhor como a norma auxilia na área da qualidade. Portanto, o presente trabalho visa responder às seguintes perguntas: Como está sendo a implementação das novas tecnologias nas empresas, perante a gestão da qualidade? Quais são os desafios e oportunidades identificados?

### 1.4. ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar os avanços da Gestão da Qualidade, levando em consideração as tecnologias da Indústria 4.0. Para isso, busca desenvolver uma

revisão sistemática da literatura que avalie a tendência que existe nas publicações científicas acerca das tecnologias utilizadas para o controle e gestão da qualidade nas indústrias.

Como objetivos específicos tem-se:

- Apresentar os principais conceitos da qualidade em um contexto fabril;
- Apresentar um histórico da evolução do estudo da qualidade;
- Identificar as principais tecnologias encontradas hoje nas indústrias, no contexto da indústria 4.0;
- Analisar os benefícios e desafios no cenário industrial, quanto a adaptação dos processos de qualidade às novas tecnologias.

## 1.5. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

O trabalho foi realizado por meio de uma revisão sistemática da literatura, utilizando a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses*). Esse método permite a seleção de estudos confiáveis e pertinentes ao tópico de interesse do pesquisador (*Page et al., 2021*), com o objetivo de investigar as influências da Indústria 4.0 e suas tecnologias na evolução da gestão da qualidade. A metodologia possibilita a identificação, seleção e inclusão de estudos que abordam a temática de pesquisa, utilizando um conjunto de palavras-chave, através de uma pesquisa sistemática, clara e com dados devidamente estruturados.

Dessa forma, com os estudos e dados citados, no Quadro 1, coletados e analisados, foi demonstrada a relação entre as novas tecnologias e a gestão da qualidade, bem como um breve cenário a qual se posiciona perante o uso dessas tecnologias e quais impactos esperados ou já observados no setor da indústria.

Quadro 1 - Protocolo de Pesquisa

Direcionamentos	Descrição
Termos de Busca (Título, Resumo e Palavras-Chaves)	<p>Grupo 1 - INDUSTRIA 4.0: ("Industrie 4.0" OR "Industry 4.0" OR "I4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "Fourth Industrial Revolution Internet" OR "4th Industrial Revolution" OR "Smart Industry" OR "Smart Manufacturing" OR "Smart Factory" OR "Digital Transformation" OR "Digitalization")</p> <p>Grupo 2 - QUALIDADE ("quality tools" OR "quality 4.0" OR "quality control tools" OR "digital quality" OR "smart quality")</p>
Estratégia de Busca	AND entre os grupos OR entre os termos do mesmo Grupo
Base de Dados	Google Acadêmico, SciELO e Portal Acadêmico da CAPES
Tipos de Publicação	Artigos e Artigos de conferências
Idiomas	Inglês, Português
Critérios de seleção	<p>Inclusão: Artigos dos últimos 6 anos, em português e inglês, com foco em tecnologias da Indústria 4.0 e gestão da qualidade.</p> <p>Exclusão: Duplicatas e artigos irrelevantes.</p>
Seleção dos Estudos	<p>Etapas do PRISMA: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. Triagem de títulos e resumos com base nos critérios definidos.</p> <p>Avaliação completa dos artigos para verificação de relevância.</p>
Período analisado	2019 a 2024

Fonte: Autoria própria

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma:

No presente capítulo foram feitas as considerações iniciais para facilitar a compreensão do tema. Além disso, possui um detalhamento da metodologia do estudo e os objetivos adotados.

No capítulo 2 foi feita a revisão de literatura sobre as eras da qualidade, a norma NBR ISO 9001:2015 e a Indústria 4.0 e suas tecnologias para o melhor entendimento da pesquisa.

No capítulo 3, se refere à metodologia abordada no estudo, cujo objetivo foi selecionar os artigos mais relevantes para a pesquisa.

No capítulo 4, destina-se a apresentar as as informações obtidas através da revisão sistemática da literatura foram apresentadas, discutidas e relacionadas, visando o objetivo do tema do estudo.

No capítulo 5, contém as considerações finais da pesquisa, sintetizando os principais resultados e reflexões.

E por fim, o capítulo 6 apresenta a conclusão do trabalho e oferece sugestões para trabalhos futuros.

## 2. A QUALIDADE E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Este capítulo visa apresentar o histórico das revoluções industriais na Gestão da Qualidade, levando em consideração a literatura existente. E para compreender os processos e recursos deste sistema, também aborda a norma de Sistemas de Gestão da Qualidade – ISO 9001:2015 e seus sete princípios de qualidade. Além disso, descreve a Indústria 4.0 e suas principais tecnologias.

### 2.1. ERAS DA QUALIDADE

Para Toledo *et al* (2017), a gestão da qualidade é a abordagem adotada e o conjunto de práticas utilizadas pela empresa para se obter, de forma eficiente e eficaz, a qualidade pretendida para o produto. Tais definições de gestão da qualidade são fruto de décadas de aperfeiçoamento das práticas de gerenciamento da qualidade, especialmente nos EUA e no Japão.

Sendo assim, a evolução da qualidade foi organizada por Eras da Qualidade, a mais aceita é a proposta por David Garvin (1992), classificando a qualidade em quatro eras: a de Inspeção, a de Controle do Processo ou Controle Estatístico da Qualidade, a de Garantia ou Gestão da Qualidade e a de gerenciamento Estratégico da Qualidade (Carpinetti; Miguel; Gerolamo, 2009; Marshall Junior, 2012). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), essa última fase também pode ser caracterizada como Gestão da Qualidade Total ou *Total Quality Management* (TQM).

#### 2.1.1. A ERA DA INSPEÇÃO DA QUALIDADE

Segundo Juran (1992), antes do século XX, o gerenciamento para a qualidade se baseava em dois princípios: inspeção dos produtos pelo consumidor e o conceito de artesanato, onde os compradores confiavam na técnica e na reputação de artesãos treinados e experientes. De acordo com Maximiano (2000), no início do século XX, as grandes empresas que então começaram a surgir substituíram o supervisor de produção, que após a inspeção formal passou a agir como agente do controle da qualidade, pelo inspetor da qualidade.

Durante esse período, surgiu uma necessidade de reestruturação nos processos de produção, o que ocasionou um aumento no número de inspeções e a necessidade de torná-las

parte de diversas etapas produtivas e não somente realizadas ao final da produção (Toledo *et al.*, 2017).

### **2.1.2. A ERA DO CONTROLE DA QUALIDADE DO PROCESSO**

Nesta era, a melhoria contínua da qualidade era o uso de ferramentas estatística e ainda limitadas a ações corretivas. Além disso, a verificação de atingimento da conformidade era baseada em um padrão estabelecido para o produto pelo produtor e não pelo cliente (Hamid *et al.*, 2019). Garvin (1992) relata que o pioneiro da aplicação da estatística ao Controle de Qualidade foi Walter A. Shewhart, dos Laboratórios Bell, que em 1924 preparou o primeiro rascunho do que viria a ser conhecido como Carta de Controle.

A era do controle estatístico foi marcada pelo aprimoramento do controle de inspeção através da utilização de métodos de estatística para controle (Araujo *et. al.*, 2015), uma vez que a inspeção peça a peça seria muito onerosa com a alta demanda de produção (Oliveira, 2004), tendo em vista o cenário da produção em massa. No início da era do controle estatístico, a atenção também recai sobre o produto, porém, com o passar do tempo foi se deslocando para o controle de processo, o que possibilitou o surgimento de outra era, a Garantia da Qualidade (Oliveira, 2004; Carvalho; Paladini, 2006).

### **2.1.3. A ERA DA GARANTIA DA QUALIDADE**

A era de Garantia ou Gestão da Qualidade tem como objetivo principal garantir a qualidade dos produtos e dos processos utilizados para obtê-los, por meio do gerenciamento de todos os processos de influência na qualidade no produto final (Toledo *et al.*, 2017).

Esta era vai além do controle estatístico, é marcada pela mudança de pensamento de estratégia de competitividade passando a adicionar o fator custo. Sendo assim, todos os departamentos da organização são envolvidos na construção da qualidade, alterando o comportamento de atenção ao produto para todo o sistema (Araujo *et. al.*, 2015).

### **2.1.4. A ERA DO GERENCIAMENTO ESTRATÉGICO DA QUALIDADE**

Gerenciamento Estratégico da Qualidade e Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management - TQM*) tratam-se do mesmo conceito, conforme evidenciado por Juran e Gryna:

“Uma das maiores aplicações do conceito de planejamento da qualidade é o planejamento

estratégico da qualidade, algumas vezes chamados de Gestão da Qualidade Total - TQM". (Juran; Gryna, 1991)

Com isso, a gestão da qualidade total envolve a cooperação de todos na organização e processos de negócios associados para produzir produtos e serviços com boa relação custo benefício, que atendam e superem as necessidades e expectativas dos clientes (Hamid, 2019 *apud* Dale *et al.*, 2003). Além disso, o foco da qualidade não é apenas sobre os sistemas, mas inclui as pessoas, logo, os colaboradores da organização que buscam a excelência no negócio (Hamid *et al.*, 2019).

## 2.2. QUALIDADE 4.0

O termo *Quality 4.0*, no português Qualidade 4.0, surgiu com a influência da indústria 4.0 na gestão da qualidade, e se trata de uma busca por excelência de desempenho no cenário atual composto pela transformação digital, através do uso de tecnologias disruptivas (Radziwill *et al.*, 2018). A construção desse termo tem como base os objetivos do *Total Quality Management (TQM)*, uma vez que eles permanecem os mesmos nesse contexto de digitalização (Sisodia; Forero *et al.*, 2020).

Esta nova era da qualidade também permite a implementação de sistemas de controle adaptativo, em que os processos são ajustados automaticamente para garantir a conformidade com os requisitos de qualidade estabelecidos. Essa abordagem inteligente da gestão da qualidade contribui para a maximização da eficiência e a minimização dos desperdícios nos processos produtivos (Souza *et al.*, 2020).

A indústria 4.0 compreende a criação de novos produtos e negócios, e com isso precisa-se manter uma gestão da qualidade para garantir a permanência destes serviços por se tratar de um mercado que está em constante crescimento. Além disso, este novo cenário possibilita inovações e sistemas inteligentes para a gestão da qualidade.

Dessa forma, as mudanças tecnológicas que surgiram nesta revolução têm um intuito de oferecer oportunidade para que a gestão seja redefinida e em conjunto, gestão e tecnologia, se tornem líderes em áreas de atuação. As empresas que procuram se atualizar nestes quesitos, estão em busca de melhorar os seus processos atuais e obter métodos inovadores de qualidade como as novas formas de interação com o cliente e com o processo, diagnósticos e manutenções remotas e gerenciamento avançado da qualidade da cadeia de suprimentos (Radziwill *et al.*, 2018).

As tecnologias precisam sempre ser introduzidas com uma articulação clara dos seus benefícios desejados que irão proporcionar e, por vezes, de como irão acontecer. Neste contexto, Radziwill (2018) procura definir de maneira simplificada esta nova era da qualidade, relacionada às informações de conectividade de dados, inteligência (entender e responder aos dados) e automação (trazer os dados quando necessário e com menos esforço) para melhorar o desempenho. E, com base nestas iniciativas, se enquadram as seguintes propostas de valor apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Propostas de valor para qualidade 4.0

<b>VALORES PARA A QUALIDADE 4.0</b>
<b>Aumentar ou melhorar a inteligência humana</b>
<b>Aumentar a velocidade e melhorar a qualidade da tomada de decisões</b>
<b>Antecipar mudanças, revelar preconceitos e se adaptar a novas circunstâncias</b>
<b>Aprender como aprender. Cultivar a autoconsciência e a consciência do outro</b>
<b>Revelar oportunidades de melhoria contínua</b>
<b>Melhorar a transparência, rastreabilidade e auditabilidade</b>

Fonte: RADZIWILL (2018)

No entanto, como foi citado anteriormente, existem oportunidades perante os valores que estão ilustrados no Quadro 2, mas também se tem desafios. Os principais obstáculos para as empresas estão ligados à gestão das pessoas, como a busca de liderança que execute a coordenação entre as áreas da organização. Sendo necessário também, desenvolver habilidade nos líderes para lidar com o ambiente competitivo, com a hierarquia, com a tecnologia e com a conectividade, primando pela transparência (Souza *et al.*, 2020).

Logo, como pode ser observado tanto no tópico anterior sobre a evolução da qualidade, quanto no que trata da Qualidade 4.0, durante as eras da qualidade, foram ocorrendo avanços que se relacionaram com as revoluções industriais e as adequações da

qualidade. Com isso, foram surgindo novos conceitos, ferramentas e focos diferentes na área de gestão da qualidade durante os últimos anos. Na Figura 1 é possível identificar a relação entre os avanços industriais e as características da gestão da qualidade.

Figura 1: Avanços Industriais e Evolução da Qualidade 4.0

Período	Descrição da revolução	Qualidade	Descrição da qualidade
Indústria 1.0 - Antes de 1890	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Os seres humanos aproveitam a água e a energia do vapor para construir infraestruturas industriais;</li> <li>– Máquinas brutas ganham produtividade em relação ao trabalho artesanal independente;</li> <li>– O aumento da produção é alcançado usando vantagens mecânicas;</li> <li>– O trabalho se concentra em executar tarefas de forma mais rápida e consistente;</li> <li>– O transporte/movimentação de mercadorias ocorre com mais frequência.</li> </ul>	Qualidade 1.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A qualidade é garantida através de medição e inspeção;</li> <li>– O volume de produção é enfatizado em vez da qualidade;</li> <li>– A fiscalização não tem como foco a redução de custos, a eliminação de desperdícios, ou perdas e ineficiências;</li> <li>– As condições de trabalho não são importantes; maximizar a produtividade do trabalhador tem precedência.</li> </ul>
Indústria 2.0 - 1890 a 1940	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A eletricidade alimenta máquinas industriais;</li> <li>– Os ganhos de capacidade de desempenho ocorrem através da aplicação de novos mecanismos;</li> <li>– A escala da automação torna-se mais ampla à medida que o tamanho do motor pode variar para se adequar a circunstâncias específicas.</li> </ul>	Qualidade 2.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maximizar a produtividade continua ser o foco principal;</li> <li>– A adesão a padrões que refletem o nível de qualidade minimamente aceitável é predominante;</li> <li>– A qualidade financeira é medida com base em sucatas e retrabalhos;</li> <li>– O desempenho do trabalho é usado para medir a produtividade.</li> </ul>
Indústria 3.0 - 1940 a 1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energia computacional fornecida aos trabalhadores para aumentar a produtividade;</li> <li>– O uso da tecnologia de informação e comunicação impulsiona melhorias;</li> <li>– A participação humana nos locais de trabalho diminui;</li> <li>– Sistemas robóticos autônomos substituem o trabalho manual.</li> </ul>	Qualidade 3.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A qualidade é um imperativo comercial;</li> <li>– Atender aos requisitos do cliente (satisfação do cliente) é enfatizado;</li> <li>– A melhoria contínua é aplicada;</li> <li>– Os ganhos de produtividade ocorrem pela estabilização de processos altamente eficientes, pela padronização do trabalho e pelo envolvimento de todos os trabalhadores nas atividades geradoras de qualidade;</li> <li>– Surgem atividades de padronização (ISO 9001) e obtenção de excelência empresarial por meio de avaliação em toda a organização (como os Critérios <i>Baldrige</i> para Excelência de Desempenho).</li> </ul>

Mudanças previstas para a Indústria 4.0 - 1995 até o presente	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Interfaces <i>ciber</i> físicas integradas automatizam ambientes de trabalho;</li> <li>– Processos automatizados lidam com sistemas de ponta a ponta;</li> <li>– Os humanos atuam em posições onde o julgamento humano não pode ser automatizado e as interações humanas não podem ser simuladas;</li> <li>– Máquinas aprendem a aprender (inteligência artificial).</li> </ul>	Qualidade 4.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A digitalização é usada para otimizar e ajustar o processo, e o aprendizado adaptativo suporta correções do sistema auto induzidas;</li> <li>– A qualidade muda seu foco orientado ao controle dos operadores de processo para os projetistas de processos;</li> <li>– As máquinas aprendem a autorregular-se e a gerir a sua própria produtividade e qualidade;</li> <li>– O desempenho humano é essencial; a ênfase muda da produção para o design do sistema e integração com o sistema de negócios.</li> </ul>
---	--	---------------	---

Fonte: ASQ, 2021 (tradução própria)

### 2.3. SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE ISO 9001:2015

A NBR ISO 9001 é uma norma internacional de Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) adotada por organizações em todo o mundo. Adotar um SGQ é uma decisão estratégica que visa aumentar a satisfação e o atendimento aos requisitos dos clientes, contribuir para a redução de não conformidades e desperdícios, melhorar o desempenho global das organizações e prover uma base sólida para o desenvolvimento sustentável. (NBR ISO 9001:2015)

A revisão de 2015, segue a abordagem de processos, incorpora o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) e a mentalidade baseada em riscos. Está detalhada em sete cláusulas (Carpinetti, 2016) e baseada nos princípios de gestão da qualidade descritos na NBR ISO 9000 – Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulários (NBR ISO 9000:2015). Os sete princípios da gestão da qualidade são:

- Foco no cliente: visa entender e atender as necessidades e expectativas atuais e futuras dos clientes quanto ao produto, ou bem fornecido, procurando sempre garantir a fidelização do comprador;
- Liderança: o papel do líder é estabelecer uma unidade de propósito e direcionar a organização. E para isso, precisar ter um bom relacionamento com os seus colaboradores, para se ter um ambiente interno adequado, com a liderança incentivando e demonstrando comprometimento para conseguir alcançar os objetivos propostos;
- Engajamento de pessoas: tem como intuito promover a colaboração de todas as pessoas da organização, para que sejam competentes, engajadas e capacitadas para

entrega de valor. E também, é necessário ter reconhecimento, empoderamento e aperfeiçoamento de competências para melhorar o engajamento das pessoas na realização dos objetivos da qualidade da organização.

- Abordagem de processos: se trata do resultado da relação entre os colaboradores e os recursos, onde deve ser considerado um sistema coerente de entrada-atividade-saída. Através do processo é possível coletar informações, para avaliar se está gerando resultados, com qualidade e eficiência, ou se possui problemas, para poder realizar a correção no planejamento das atividades;
- Tomada de decisão baseada em evidências: procura estabelecer estratégias, políticas e objetivos por meio de análises de informações coletadas na organização;
- Melhoria: consiste na organização buscar a melhoria contínua da consistência, adequação e eficácia do Sistema de Gestão da Qualidade;
- Gestão de relacionamentos: permite um gerenciamento sustentável para todas as partes interessadas da organização, visto que eles são os fatores chaves na obtenção de sucesso.

#### 2.4. INDÚSTRIA 4.0 E SUAS TECNOLOGIAS

A indústria 4.0, também é conhecida pela expressão, “Quarta Revolução Industrial”, que trata do avanço no setor de manufatura mundial, tendo como base de comparação as outras três revoluções que trouxeram cronologicamente, a implantação das máquinas a vapor substituindo trabalhos artesanais, a utilização da energia elétrica e a mecanização das tarefas (Santos *et al.*, 2018).

Tendo em vista esse contexto, Schwab (2019) destaca a importância da personalização de produtos, e para isso, as empresas precisam garantir flexibilidade, eficiência nos processos e baixo consumo de energia e custos. A gerência deve conseguir tomar decisões de forma mais rápida e acertada tendo acesso a informações do nível da produção em tempo real, aumentando a qualidade dos produtos e serviços.

Em relação a implantação deste sistema precisa de um ambiente propício para a aplicação das novas tecnologias e das mudanças necessárias no processo produtivo. Sendo assim, um dos requisitos é a integração dos sistemas, ou seja, que máquinas, equipamentos e colaboradores estejam integrados no novo ambiente produtivo. Por outro lado, essa integração é um dos grandes desafios para a Indústria 4.0, visto que uma empresa possui diversos equipamentos que utilizam sistemas específicos dos seus fabricantes, e esses sistemas são de

diferentes fabricantes e na maior parte das vezes não se integram entre si (Sacomano *et al.*, 2018).

As tecnologias da Indústria 4.0 são denominadas megatendências e abrangem três categorias diferentes: categoria física, categoria digital e categoria biológica. Primeiramente, na categoria física essas megatendências se referem a veículos autônomos, impressão 3D, robótica avançada e novos materiais. Na categoria digital, a principal tendência é a internet das coisas que pode ser descrita como a relação entre as coisas (produtos, serviços, lugares e etc.) e as pessoas, que se torna possível por meio das diversas plataformas e tecnologias conectadas. Por fim a biológica, apresenta as principais inovações que estão no campo da genética. A revolução tem como característica a interdependência das tecnologias. As novas tecnologias são harmônicas e se integram criando descobertas (Schwab, 2016).

A Indústria 4.0 se baseia em nove pilares tecnológicos. Essas inovações ligam os mundos físico e digital e tornam possíveis os sistemas autônomos inteligentes (Sacomano *et al.*, 2018).

- a) *Big Data Analytics*: visa relacionar toda a sua infraestrutura para o gerenciamento e análise de grandes conjuntos de dados, em diferentes formatos, com alta variação de qualidade desses dados e de diferentes *stakeholders* (Sisodia; Forero, 2020).
- b) *Internet of Things* (IoT): se trata de equipamentos industriais que são capazes de usar sensores e câmeras para capturar dados e imagens para serem processados de maneira segura e depois compartilhados entre outros setores para facilitar a tomada de decisões eficiente (Liu *et al.*, 2019).
- c) *Internet of Services* (IoS): se refere a um sistema que utiliza a sistemática da internet para criar novas maneiras de valor de serviços, e também utiliza a tecnologia para monitorar o ciclo de vida do produto (Andulkar; Le; Berger, 2018).
- d) *Cyber Physical Systems* (CPS): ocorre uma comunicação entre os sistemas por meio da internet, onde fornecem informações sobre localização, *status*, histórico e rota. Sendo estes, usados para se conhecer o processo, determinar o tempo de cada etapa, auxiliando na prevenção de falhas e controle da qualidade (Santos *et al.*, 2019).
- e) Manufatura Aditiva/Impressão 3D: consiste na produção de peças a partir de camadas sobrepostas de materiais, por meio de dimensões previamente programadas através de um *design* digital em três dimensões elaborado em um *software* de desenho para computadores (Almeida, 2019).
- f) Realidade Aumentada (AR): tem o intuito de auxiliar nos processos industriais, bem como uma visão em tempo real do mundo físico com adição de informações virtuais

geradas por computador, ou seja, combinando objetos reais e virtuais, para a garantia da qualidade e logística (Narula *et al.*, 2020).

g) Inteligência Artificial (IA): apresenta uma capacidade cognitiva humana utilizando mecanismos e dispositivos inteligentes, e envolve pesquisas nas áreas de processamento de imagens, processamento de linguagem natural, robótica, aprendizado de máquina, entre outros (Alpaydin, 2020).

h) Robótica Avançada: são robôs que são capazes de desempenhar diversas funções, reconhecendo e analisando as informações recebidas do ambiente e agindo a partir delas, sendo auxiliados por sensores (Schwab, 2019).

i) *Cloud Computing*: concede acesso sob demanda ou pagamento por uso, para a utilização de recursos computacionais compartilhados. Além disso, proporciona diversas vantagens, sendo uma delas a economia em despesas de operação (Zhong *et al.*, 2017).

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho adota a revisão sistemática da literatura, um método rigoroso, explícito e reproduzível, que possibilita a identificação, avaliação, síntese e resumo dos estudos realizados na área (FINK *et al.*, 2014). Para conduzir a pesquisa, utilizou-se a metodologia PRISMA. Esta metodologia foi selecionada devido à sua relevância na estruturação e condução de revisões sistemáticas, proporcionando um processo rigoroso de identificação, seleção e análise crítica dos estudos disponíveis.

Primeiramente, foram estabelecidas diretrizes de pesquisa. Foram definidas as seguintes palavras-chave: “Indústria 4.0”, “4ª Revolução Industrial”, “*Industry 4.0*”, “*4th Industrial Revolution*”, “*Smart Quality Management*” e “*Quality 4.0*”. Devido a temática pesquisada possuir muitas palavras sinônimas, optou-se por utilizar operadores booleanos, sendo "OR" utilizado para agrupar os sinônimos dentro do mesmo grupo e "AND", utilizado para conectar os diferentes grupos de pesquisa, aumentando assim, a probabilidade de identificar documentos relevantes.

A busca por estudos foi realizada em bases de dados reconhecidas, como Google Acadêmico, SciELO e o Portal de Periódicos da CAPES, abrangendo o período de 2019 a 2024, com ênfase em artigos revisados por pares. Em seguida, foram definidos critérios de inclusão e exclusão para garantir que apenas estudos relevantes fossem analisados:

- Critérios de Inclusão:
  - Estudos que relacionam diretamente as tecnologias da Indústria 4.0 à gestão da qualidade.
  - Pesquisas empíricas ou revisões de literatura sobre a transformação digital e seus impactos no controle de qualidade.
  - Artigos acadêmicos e conferências científicas.
- Critérios de Exclusão:
  - Estudos que tratam exclusivamente de outros aspectos da Indústria 4.0, sem foco na gestão da qualidade.
  - Publicações duplicadas ou resumos sem acesso ao artigo completo.

O processo de seleção dos estudos seguiu o fluxo da metodologia PRISMA, conforme descrito abaixo:

1. Identificação: Foram coletados todos os estudos que se enquadraram nos critérios de busca, totalizando 68 artigos.
2. Triagem: Após a remoção de duplicatas, 28 artigos foram selecionados com base na leitura dos títulos e resumos.
3. Elegibilidade: Os textos completos dos estudos pré-selecionados foram lidos e avaliados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Dessa forma, 30 artigos foram excluídos por não atenderem completamente aos critérios.
4. Inclusão: No final, 10 artigos foram selecionados para compor a revisão sistemática.

Todo esse percurso metodológico foi sintetizado, conforme a Figura 2 abaixo. Ao longo desse processo foi reduzindo a quantidade de artigos, de acordo com a regra estabelecida.

Figura 2: Processo de aplicação do Prisma



Fonte: Autoria própria

Foram extraídos dos artigos incluídos na revisão os seguintes dados: título, ano de publicação, objetivo do estudo e contribuição do estudo. Essas informações foram organizadas no Quadro 3 abaixo, visando facilitar a análise comparativa e a síntese dos resultados.

Quadro 3 – Artigos selecionados

<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Contribuição do Estudo</b>
The Quality 4.0 Roadmap: Designing a capability roadmap toward quality management in Industry 4.0	2024	Projetar um roteiro de capacidade para a gestão da qualidade na Indústria 4.0	Apresenta um roteiro detalhado para alinhar a gestão da qualidade com as demandas e capacidades da Indústria 4.0.
Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector	2021	Investigar a importância da Qualidade 4.0 para a melhoria abrangente no setor manufatureiro	Destaca como a implementação da Qualidade 4.0 impacta diretamente na eficiência e competitividade do setor manufatureiro.
Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications	2021	Analisar as relações e implicações do modelo EFQM 2020 com a Indústria 4.0	Explora as sinergias entre o modelo EFQM e os princípios da Indústria 4.0, destacando novas perspectivas de qualidade organizacional.
Gestão da Qualidade na Indústria 4.0: O que podemos esperar?	2022	Explorar o que pode ser esperado da gestão da qualidade na Indústria 4.0	Descreve as expectativas e inovações esperadas na gestão da qualidade dentro do contexto da Indústria 4.0.
Qualidade 4.0: tecnologias emergentes e suas aplicações	2023	Analisar as tecnologias emergentes e suas aplicações na Qualidade 4.0	Identifica e discute as principais tecnologias emergentes, como IoT e inteligência artificial, e suas aplicações na gestão da Qualidade 4.0.
A importância da atualização das ferramentas da qualidade nas metodologias aplicadas na indústria 4.0	2021	Destacar a importância da atualização das ferramentas da qualidade na Indústria 4.0	Enfatiza a necessidade de atualização contínua das ferramentas de qualidade para manter a relevância e eficácia no cenário da Indústria 4.0.
A evolução da qualidade na indústria 4.0	2020	Investigar a evolução da qualidade na era da Indústria 4.0	Aponta a transformação dos conceitos e práticas de qualidade, adaptando-se às novas

			tecnologias e processos da Indústria 4.0.
Implicações da manufatura avançada na era da indústria 4.0: desafios e oportunidades	2024	Discutir as implicações e desafios da manufatura avançada na Indústria 4.0	Aborda os desafios operacionais e as oportunidades estratégicas trazidas pela manufatura avançada no contexto da Indústria 4.0.
Indústria 4.0: Os conceitos utilizados nas organizações	2021	Examinar os conceitos da Indústria 4.0 utilizados nas organizações	Mapeia os principais conceitos e tecnologias implementados nas organizações como parte da transição para a Indústria 4.0.
O futuro da gestão da qualidade em processos produtivos: um estudo sobre o uso das plataformas digitais sobre o controle da qualidade em processos produtivos	2023	Estudar o uso de plataformas digitais para controle da qualidade em processos produtivos	Demonstra como as plataformas digitais estão revolucionando o controle da qualidade em processos produtivos, proporcionando maior precisão e agilidade.

Fonte: Autoria própria

#### 4. DESENVOLVIMENTO

A Indústria 4.0 e a Qualidade 4.0 representam duas abordagens complementares que estão revolucionando o setor industrial. A Indústria 4.0 é impulsionada pelo uso de tecnologias avançadas, que têm como objetivo criar sistemas de produção inteligentes e eficientes, permitindo a convergência entre processos, máquinas e sistemas de TI, buscando assim uma comunicação mais eficiente (Najmi *et al.*, 2021). Enquanto a Qualidade 4.0, procura utilizar as tecnologias avançadas da Indústria 4.0 para transformar a gestão da qualidade.

Essa abordagem orienta-se pela agilidade, eficiência e uso de dados, permitindo que as organizações alcancem níveis superiores de qualidade em produtos e processos (Rey Sánchez *et al.*, 2022). A integração de sistemas de produção com tecnologias como IoT e inteligência artificial possibilita um monitoramento e controle mais eficiente dos processos, gerado na redução de defeitos e no aumento da conformidade com as exigências dos clientes.

A integração destes conceitos tende a melhorar a eficiência dos processos, além de impactar de forma positiva a competitividade das organizações. A Qualidade 4.0, aliada às tecnologias avançadas, permite melhorias nos processos de produção, atendimento aos custos e otimização do desempenho (Dias; Carvalho; Sampaio, 2022). A transformação digital na gestão da qualidade, conforme mencionado por Martyakova e Gorchakova, (2021), impulsionou uma gestão mais moderna e eficaz. Essa transformação digital pode ocorrer inclusive com as ferramentas de controle da qualidade, para poder se adequar ao cenário envolvido.

As ferramentas da qualidade são usadas para obter resultados e auxiliar na compreensão dos problemas de um modo geral, bem como permitir soluções para eliminar os resultados inesperados, com isso procura otimizar os problemas, favorecendo a potencialização dos processos tanto operacionais quanto administrativos, fazendo com que a organização possa obter resultados expressivos no atendimento às suas metas assim como a de seus clientes. Para Morais (2021), as ferramentas da qualidade servem para identificar como a qualidade pode ser empregada em todos os seus processos permitindo assim uma melhor eficiência e eficácia da sua aplicação.

Com a inserção destes conceitos, é necessário realizar mudanças nas organizações, devido a inserção de sistemas inteligentes e de novas tecnologias, além da criação de novas tarefas de trabalho. Isso implica em desafios para as indústrias interessadas (Kilin *et al.*, 2021)

nos aspectos infraestrutura, tecnológico e de recursos humanos, financeiro e de gestão. Em particular, o problema dos recursos humanos que são disponibilizados com o advento da indústria 4.0 envolve uma questão social que merece uma especial atenção dos empresários e autoridades do governo (Pinto *et al.*, 2024).

#### 4.1. ADOÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE

A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão da qualidade representa uma transformação significativa na maneira como os processos de produção e controle de qualidade são geridos. A Indústria 4.0, caracterizada pela digitalização e automação dos processos produtivos, traz consigo tecnologias como Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, Inteligência Artificial (IA), Sistemas ciber-físicos (CPS) e *Cloud Computing*, que estão buscando atualizar os padrões tradicionais de controle e gestão da qualidade.

De acordo com Carvalho *et al.* (2020), a adoção da Indústria 4.0 na gestão da qualidade exige uma nova abordagem estratégica. Os gestores de qualidade não podem ficar limitados a uma supervisão reativa dos processos, mas precisam ter uma postura proativa, utilizando dados em tempo real e sistemas automatizados para antecipar e corrigir falhas antes mesmo que elas sejam efetuadas. O conceito de Qualidade 4.0 é criado nesse contexto, onde a digitalização é o motor da eficiência e da precisão, levando uma integração sem precedentes entre todas as etapas da cadeia produtiva.

Um dos desafios apontados por Costa e Andrade (2020) é a integração de sistemas legados. Muitas empresas que adotam práticas de gestão da qualidade baseadas nos princípios do controle estatístico de processos (CEP), Six Sigma e ISO 9001:2015, continuam utilizando sistemas e tecnologias que não estão configurados para operar em um ambiente digitalizado. Essa falta de compatibilidade entre as ferramentas tradicionais de controle e as novas tecnologias pode gerar um processo de transição difícil e custoso. A migração para um sistema digital integrado exige não apenas o investimento em novas infraestruturas tecnológicas, mas também um esforço significativo em termos de adaptação de processos e treinamento da força de trabalho.

O artigo de Souza e Ferreira (2021) destaca que a capacitação da mão de obra é um dos maiores desafios para a implementação da Qualidade 4.0. Profissionais que foram treinados em metodologias tradicionais de controle de qualidade precisam agora dominar novas competências, como análise de dados, programação e gestão de sistemas automatizados. A transformação digital obriga uma força de trabalho altamente desenvolvida,

capaz de operar e analisar os dados em tempo real, utilizando ferramentas como Inteligência Artificial (IA) e *Big Data* para tomar decisões rápidas e precisas.

Entretanto, os desafios também vêm acompanhados de oportunidades significativas. Carvalho *et al.* (2020) relata que empresas que buscam implementar com sucesso a Qualidade 4.0 relatam uma redução significativa nos índices de falhas e defeitos em suas linhas de produção. Um exemplo é a Volkswagen, que introduziu sensores IoT em sua linha de produção, permitindo o monitoramento contínuo e em tempo real de suas operações. Sendo assim, a empresa conseguiu diminuir em 30% o número de defeitos na fabricação de veículos, o que representa um ganho significativo tanto em termos de qualidade quanto de eficiência operacional.

Além disso, a Bosch, outra empresa reconhecida no setor automotivo, implementou sistemas de *Big Data* e Inteligência Artificial para realizar a previsão de falhas em suas fábricas. O uso dessas tecnologias permitiu à empresa identificar problemas nos equipamentos antes que eles pudessem afetar a produção, resultando em uma diminuição do tempo de inatividade e no aumento da produtividade (Souza; Ferreira, 2021). Esses exemplos práticos demonstram que, quando bem inovadoras, as tecnologias da Indústria 4.0 podem trazer benefícios para a gestão da qualidade, aumentando a competitividade das empresas no mercado global.

Portanto, a adoção desses procedimentos depende de um planejamento estratégico robusto, que leva em consideração a implementação de novas tecnologias, a integração com sistemas legados, a capacitação da força de trabalho e a gestão de mudanças organizacionais. Embora o caminho para a transformação digital possa ser desafiador, os benefícios a longo prazo, como a redução de defeitos, a melhoria da eficiência operacional e a maior competitividade no mercado, fazem valer o investimento empregado. De maneira geral, segundo Fonseca *et al.* (2021), pode se listar os seguintes tópicos para aprimorar a qualidade:

- Automatiza processos de inspeção
- Reduz o custo da qualidade
- Controle de qualidade
- Pesquisa e desenvolvimento
- Aumento da eficácia da organização
- Aumentar o desempenho do produto
- Cultura empresarial e parceria
- Simplifica todo o processo de qualidade
- Realinhar funções de qualidade

- Reformular os procedimentos de produção
- Produção de novos produtos
- Operações de controle
- Monitoramento contínuo
- Alerta automaticamente durante a condição desejada
- Medidas operacionais
- Detectar defeitos
- Operações adequadas de produtos acabados
- Garantia de qualidade

#### 4.2. IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES NA GESTÃO DA QUALIDADE

As tecnologias emergentes desempenham um papel importante na transformação da gestão da qualidade no contexto da Indústria 4.0. Entre as principais tecnologias destacadas pelos estudos estão a Internet das Coisas (IoT), *Big Data* e *Data Analytics*, Inteligência Artificial (IA) e Sistemas Ciber-físicos (CPS). Cada uma dessas tecnologias procura contribuir para melhorar o controle e a gestão da qualidade, possibilitando que as empresas monitorem e otimizem seus processos no preciso tempo que ocorrer, sendo que antes era incapaz com os métodos tradicionais.

A Internet das Coisas (IoT) é uma das tecnologias mais relevantes neste contexto. A IoT conecta máquinas, equipamentos e dispositivos através de sensores, que geram uma grande quantidade de dados sobre o estado de funcionamento dos equipamentos, a qualidade dos produtos e o desempenho do processo produtivo de maneira geral. Segundo Souza *et al.* (2021), a IoT possibilita o monitoramento em tempo real de cada etapa do processo produtivo, permitindo que os gestores de qualidade detectem e corrijam falhas de forma imediata, antes que elas possam causar prejuízos ao produto final. Por exemplo, sensores IoT instalados em uma linha de produção podem detectar uma variação fora do padrão em uma máquina e alertar o operador, que pode intervir imediatamente para evitar a produção de peças defeituosas.

Outra tecnologia de destaque é o *Big Data*, que se refere à capacidade de armazenar, processar e analisar grandes volumes de dados gerados pelos sistemas produtivos. No contexto da gestão da qualidade, ela permite uma análise preditiva, identificando padrões de qualidade e falhas potenciais com base em dados históricos e em tempo real. De acordo com Lima e Martins (2021), o uso de *Data Analytics* e *Big Data* possibilita que as empresas façam

uma análise preditiva dos problemas de qualidade, ou seja, que identifiquem padrões e comportamentos que podem levar a falhas no processo antes que elas aconteçam. Essa capacidade preditiva é essencial para a manutenção preventiva, onde as máquinas são ajustadas ou reparadas antes que um problema ocorra, evitando falhas no produto final e reduzindo o tempo de inatividade.

Além disso, a Inteligência Artificial (IA) está revolucionando a maneira como a qualidade é gerenciada. A IA, por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, é capaz de processar quantidades enormes de dados em tempo real, aprendendo com eles e otimizando os processos produtivos de forma autônoma. Lima e Martins (2021) destacam que é muito útil em ambientes de produção mais complexo, onde um manual de análise de dados seria impraticável devido ao volume e à quantidade de informações. Ela é utilizada para prevenir falhas, otimizar o desempenho das máquinas e garantir que os padrões de qualidade sejam mantidos em níveis elevados.

A empresa Ford, por exemplo, utiliza IA para monitorar e interpretar os dados gerados durante o processo de fabricação de componentes automotivos. Dessa maneira, ela identifica padrões de dados que informam prováveis defeitos, possibilitando que a empresa interceda no processo antes que seja apresentado um defeito. Essa abordagem preditiva melhora a qualidade dos produtos, e busca reduzir de maneira significativa o retrabalho e o desperdício (Lima; Martins, 2021).

Por fim, os Sistemas Ciber-físicos (CPS), visam unificar o cenário físico e o digital. Estes sistemas combinam sensores, máquinas e redes de comunicação para formar uma simulação digital do ambiente físico, permitindo o monitoramento e o controle automatizado dos processos produtivos. Souza e Cols. (2021) afirmam que os CPS permitem ajustes automáticos em tempo real no ciclo de produção, fazendo com que os produtos atendam aos requisitos de qualidade sem a necessidade de intervenção humana. Esses sistemas são fundamentais onde a precisão e a consistência são cruciais, como a indústria farmacêutica e a fabricação de semicondutores.

No entanto, as tecnologias emergentes estão modificando a gestão da qualidade ao oferecer novas maneiras de monitorar, prever e melhorar os processos produtivos. A IoT, o *Big Data*, a IA e os Sistemas Ciberfísicos permitem que as empresas adotem uma abordagem mais proativa e preditiva para a gestão da qualidade, melhorando a eficiência, evitando danos e aumentando a competitividade.

#### 4.3. DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DA QUALIDADE 4.0

A implementação deste sistema apresenta uma série de desafios e oportunidades. Sendo, que um dos principais desafios enfrentados pelas empresas é o custo elevado de implementação. Como destacado por Carvalho *et al.* (2020), a modernização dos sistemas legados, que muitas vezes não são compatíveis com as novas tecnologias da Indústria 4.0. O desafio de integrar acaba influenciando em vários fatores, inclusive o financeiro em primeiro momento até conseguir ter retorno.

Outro ponto importante é a capacitação da força de trabalho. A transição para a Qualidade 4.0 exige uma qualificação dos colaboradores envolvidos. Conforme destacado pelos autores Morais, Neto, Santos e Sacomano *et al.* (2020), as etapas do movimento da qualidade foram evoluindo de acordo com as necessidades do mercado e da implementação de novas ferramentas e filosofias no setor da produção, destacando-se também, o atendimento das expectativas dos clientes. Essas mudanças foram contribuindo para melhor desempenho interno, com processos estruturados, capacitação de funcionários e maior envolvimento da liderança.

Além disso, Alves e Lima *et al.* (2024) mencionam a resistência à mudança por parte dos funcionários, por estarem trabalhando a muito tempo daquela forma, e por conta muitas das vezes da idade ou escolaridade, não querem se capacitar para adequar neste novo meio.

No entanto, as oportunidades oferecidas pela Qualidade 4.0 são vastas e podem superar os desafios se as empresas souberem aproveitar o potencial das tecnologias emergentes. A principal oportunidade é melhorar a eficiência operacional. Javaid e Sumam concordam que as tecnologias digitais podem ajudar a melhorar a qualidade de várias maneiras. As plataformas *online* podem permitir que as pessoas façam seus trabalhos de forma mais rápida, inteligente e com custo reduzido. Fatores como o ambiente são normalmente rastreados e pode-se identificar seu efeito significativo nas flutuações de qualidade. A busca imediata por maior visibilidade do processo representa a imensa capacidade da IoT para controle de qualidade proativo.

A adoção dessas inovações valoriza ainda mais a empresa em meio a competitividade no mercado global, por estar de acordo com as tendências mercadológicas. Souza e Fernandes (2022), evidenciam que com clientes mais rígidos na qualidade dos produtos, as empresas devem buscar a satisfação dos mesmos, aliada com a maior produtividade e menor custo. Inovação e modernização devem estar presentes no cotidiano da

empresa pela busca de melhorias contínuas em toda organização alcançando assim maior competitividade.

Outro benefício potencial é a sustentabilidade. Amaral, Fonseca e Oliveira (2021), afirmam que as técnicas e ferramentas de qualidade podem contribuir para a sustentabilidade, para identificar as necessidades do cliente e projetar o produto e o processo de produção ou até mesmo avaliar o impacto ambiental do produto e suas alternativas potenciais. As práticas e ferramentas de gestão da qualidade devem ser desenvolvidas e adaptadas para apoiar a sustentabilidade e ter um impacto significativo e positivo nas suas três dimensões: sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Dessa forma, procura também aprimorar a cadeia de valor, promovendo uma maior colaboração entre os diferentes agentes envolvidos. Como mencionado por Lima e Maduro (2024), para se alcançar maior flexibilidade na produção, permitindo a adaptação rápida às mudanças de demanda e personalização em massa dos produtos.

Em resumo, apesar dos desafios, os benefícios prevalecem para aproveitar esta nova era industrial. A cultura de inovação e o investimento em capacitação, oferecem às empresas a oportunidade de alcançar maior eficiência, qualidade e competitividade em um mercado cada vez mais dinâmico e globalizado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho evidencia que a Qualidade 4.0 emerge como uma força transformadora dos processos industriais frente à quarta revolução industrial. Nesse contexto, a gestão da qualidade e a Indústria 4.0 desempenham papéis cruciais na otimização e integração no setor empresarial. No entanto, por que os estudos declaram que existem muitos desafios a serem conquistados, por mais que existem benefícios que compensam enfrentar esses casos?

Embora a Qualidade 4.0 e a Indústria 4.0 tenham sido os pilares da eficiência operacional em muitas indústrias, suas capacidades atuais enfrentam limitações significativas em adaptabilidade, flexibilidade e capacidade de lidar com a complexidade da implantação deste processo. A ISO 9001:2015, utilizada na gestão da qualidade, destaca que, para a eficiência e eficácia do sistema de gestão da qualidade, é essencial seguir princípios sólidos que assegurem a adaptação aos novos cenários e tecnologias emergentes.

Analisando a situação atual é notável a evolução da gestão da qualidade ao longo do tempo, oferecendo novas ferramentas para aumentar a eficiência, prevenir falhas e melhorar a qualidade em tempo real. A literatura apresenta crescimento e as tendências apontam para um futuro em que a gestão da qualidade será cada vez mais digital e conectada. Mas, é preciso ter atenção para solucionar os problemas para ter um bom funcionamento, pois por mais que esteja avançando tecnologicamente tem conceitos que estão ficando pendentes. Dentre eles, a exigência de aquisição de novas habilidades de conhecimento e de adaptação a cenários com rápidas mudanças.

Como foi de comum acordo entre os artigos analisados, a qualificação dos funcionários muitas das vezes não é aceitável, por já estar acostumado com a rotina de trabalho daquela forma, e por questão de já ter uma certa idade ou nível de escolaridade, então não consegue ou não possui condições para se capacitar. E para solucionar essa questão, pode-se levar em consideração o princípio do “Engajamento de pessoas” da ISO 9001:2015, que tem como intuito promover a colaboração de todas as pessoas da organização, para que sejam competentes, engajadas e capacitadas para entrega de valor. Dessa maneira, vale a pena avaliar qual o melhor método para incentivar o engajamento das pessoas na realização dos objetivos da qualidade da organização.

Além disso, as empresas precisam investir em infraestrutura tanto organizacional quanto tecnológica, para desenvolver competências digitais e garantir a segurança dos dados. E futuramente a gestão da qualidade vai se transformar, para evoluir cada vez mais, de acordo com as necessidades. Enquanto as tecnologias continuam avançando, as organizações

precisarão se adaptar e inovar continuamente para aproveitar as oportunidades oferecidas pela qualidade 4.0, ou seja, representa uma nova fronteira para a gestão da qualidade na era digital.

Embora esteja associada a desafios, as suas potencialidades para melhorar a eficiência, a transparência e a adaptabilidade dos processos de qualidade são essenciais. Dessa forma, é fundamental aplicar os sete princípios da gestão da qualidade estabelecidos pela ISO 9001:2015, que são:

1. Foco no cliente: o ponto principal deve ser atender às necessidades e expectativas do cliente, o que se alinha com a melhoria contínua proporcionada pela gestão da qualidade.
2. Liderança: o papel do líder é vital para a criação de um ambiente que permita o engajamento dos colaboradores em prol dos objetivos de qualidade.
3. Engajamento de pessoas: como já mencionado, este princípio garante que todos os envolvidos estejam capacitados e comprometidos com a excelência.
4. Abordagem por processos: fortalece a otimização dos processos através da automação e da digitalização.
5. Melhoria contínua: a integração das tecnologias da Indústria 4.0 permite o monitoramento em tempo real e ajustes constantes para aprimorar a qualidade.
6. Tomada de decisão baseada em evidências: a análise de dados em tempo real, permite ter uma decisão mais eficaz e precisa, evitando maiores perdas.
7. Gestão de relacionamento: permite uma melhor integração e colaboração com fornecedores e outras partes interessadas.

Nesse contexto, corroborando com a indagação feita no parágrafo inicial deste tópico, para poder romper com esses desafios, apesar de depender da aplicação de cada organização, é crucial seguir as seguintes parâmetros para implantação adequada: i) estabelecer objetivos abrangentes, ii) detectar e desenvolver ações que tornem possível alcançar esses objetivos, iii) atribuir responsabilidades específicas para as pessoas, iv) disponibilizar os meios e recursos para o cumprimento dessas atividades, v) formar e capacitar pessoal para a execução adequada das tarefas, vi) selecionar mecanismos de avaliação de desempenho que leve em consideração os objetivos estabelecidos e vii) determinar a periodicidade de tais avaliações.

Todavia, esse processo envolve uma representação financeira inicial significativa, por conta do investimento para adaptar os processos produtivos e incorporar tecnologias como sensores, robôs e máquinas de impressão 3D, que certamente trará retorno. Isso porque com essa adoção terá uma redução no custo da qualidade, aumento da eficácia da organização,

uma simplificação em todo o processo de qualidade, diminuição dos defeitos, garantindo assim a qualidade do produto e um maior valor agregado, o que aumenta a confiabilidade do cliente.

## 6. CONCLUSÕES

A pesquisa conduzida neste trabalho apresentou uma análise abrangente sobre como a Indústria 4.0 está redefinindo os paradigmas da produção industrial e demandando uma readequação da gestão da qualidade.

A forma como a tecnologia foi mudando e afetando o cotidiano do controle de qualidade é pouco abordada nos estudos publicados atualmente, dando espaço para ampliar os estudos e discussões. Conforme apresentado nos objetivos, a intenção do presente trabalho visa analisar o atual cenário da qualidade aplicada nas empresas em relação às mudanças de tecnologias, inovação e condições econômicas. Deste modo, por meio dos artigos analisados, permitiu-se compreender como as empresas estão se moldando aos conceitos da qualidade e de fato sendo flexíveis para adequar e manter suas premissas normativas, dando foco à Indústria 4.0 e os conceitos aplicados nos mais diversos segmentos e setores.

E possui um potencial de transformar significativamente os processos de produção, promovendo maior eficiência, flexibilidade e qualidade. Através da integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, *Cloud Computing* e Realidade Aumentada, sendo as mais citadas que estão sendo usadas, as empresas podem alcançar níveis avançados de automação e otimização.

A Qualidade 4.0 é essencial para caracterizar os produtos finais, a demanda volátil do consumidor, os altos custos de materiais e fabricação para atingir a eficiência e reduzir a taxa de rejeição. Neste sentido foi abordado a ISO 9001:2015 e de seus sete princípios para garantir uma gestão de qualidade eficaz em meio às transformações digitais. Os princípios elaborados baseados em evidências e gestão de relacionamento foram analisados como pilares fundamentais para o sucesso da Qualidade 4.0.

Assim, para entender o efeito de diversas culturas e tipos de gestão na adoção eficaz da Qualidade 4.0, é necessária uma análise com várias organizações de diferentes dimensões e designs. Com o desenvolvimento recente de sensores de baixo custo, sistemas aprimorados de aquisição de dados e comunicação rápida em sistemas ciber-físicos, os sistemas de controle de qualidade se tornaram bastante eficazes. O Big Data permite uma visão abrangente e integrada das demandas do consumidor, melhorando a qualidade de todo o sistema de manufatura. Os aspectos marcantes da Qualidade 4.0 incluem manter a qualidade durante todo o ciclo de vida do produto. O nível de serviço também pode ser rastreado com sucesso usando inteligência artificial para coletar e testar o consumo do produto. No futuro, o suporte

transparente e visível para a gestão de alto nível facilita percepções otimistas do consumidor em relação à Qualidade 4.0.

Entretanto, como será o papel da qualidade no futuro? Como a Qualidade 4.0 irá evoluir à medida que novas tecnologias, como a Indústria 5.0, emergem? Será que as empresas estarão preparadas para acompanhar essas mudanças? Até que ponto a automação e as ferramentas digitais substituirão o fator humano nas decisões de qualidade? Além disso, como as empresas podem garantir que as inovações tecnológicas não comprometam os princípios fundamentais da qualidade, como a melhoria contínua e a satisfação do cliente? O que acontece com a relação entre as normas globais de qualidade e as exigências locais, especialmente em contextos de rápida digitalização?

Para encerrar este trabalho, é importante destacar algumas sugestões para estudos futuros a fim de aprofundar e expandir o conhecimento acerca do tema. É de se esperar que o modelo sofra atualizações ao longo do tempo. À medida que a tecnologia evolui e a sociedade muda, os paradigmas industriais também o fazem, como o surgimento de perspectivas como a Indústria/Qualidade 5.0. Em linha com essa perspectiva evolutiva, o modelo foi construído com base em estágios de capacidade e pode ser refinado e melhorado, resultando em maior ajuste das estruturas desenvolvidas e resiliência geral.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. 1. ed. São Paulo: Érica, v. 1, 2019.

ALPAYDIN, E. **Introduction to Machine Learning**. 4. ed. Massachusetts: The MIT Press, 2020.

ANDULKAR, M.; LE, D.T.; BERGER, U. **A multi-case study on Industry 4.0 for SME's in Brandenburg, Germany**. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, p. 4544-4553, 2018.

ARAUJO, L. M.; RODRIGUES, V. P.; RAZZINO, C.; MAZIER JUNIOR, H.; LOPES, D. A. T. G. **Implantação de um sistema de controle da qualidade em uma empresa de pequeno porte da indústria têxtil**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza. Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2015.

ASQ. **American Society for Quality**. Disponível em: <<https://asq.org/quality-resources/quality-4-0>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

BASSAN, E. J. **Gestão da Qualidade - Ferramentas, Técnicas e Métodos**. 1. ed. Curitiba, PR: s.n., 2018.

CARPINETTI, L. C. R.; MIGUEL, P. A. C.; GIROLAMO, M. C. **Gestão da Qualidade ISO 9000:2000 : Princípios e Requisitos**. 1. ed. – 3. reimpressão – São Paulo: Atlas, 2009.

CARVALHO, A.M.; DIAS, A.R.; DIAS, AM.; SAMPAIO, P. (2024). **O Roteiro da Qualidade 4.0: Projetando um roteiro de capacidades para a gestão da qualidade na Indústria 4.0**. Quality Management Journal , 31 (2), 117–137. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10686967.2024.2317478>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

DA SILVA, C. W. B.; NASCIMENTO, J. S.; FERRAZ, M. A.; ROBERTO, J. C. A.; SOARES, M. C. **Qualidade 4.0: tecnologias emergentes e suas aplicações**. Revista de Gestão e Secretariado, [S. l.], v. 14, n. 7, p. 12116–12132, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i7.2525. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2525>. Acesso em: 02 de junho de 2024.

DE SOUZA ,G. N.; DE MELO P. V.; LOPES ,F. J. . C.; DE OLIVEIRA M.,M.; MONICO ,I. C.; DE BRITO, S. R. **Gestão da Qualidade na Indústria 4.0: O que Podemos Esperar?** Journal of Technology & Information, [S. l.], v. 2, n. 3, 2022. Disponível em: <http://www.jtni.com.br/index.php/JTnI/article/view/44>. Acesso em: 18 de maio de 2024.

FONSECA, L.; AMARAL, A.; Oliveira, J. **Qualidade 4.0: O Modelo EFQM 2020 e as Relações e Implicações da Indústria 4.0**. Sustainability 2021 , 13 , 3107. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13063107>. Acesso em: 05 de maio de 2024.

FRANCISCO , D.; OLIVEIRA, J. **O Futuro da Gestão da Qualidade em Processos Produtivos: Um Estudo Sobre o Uso das Plataformas Digitais Sobre o Controle da Qualidade em Processos Produtivos**. RACE - Revista de Administração do Cesmac, [S. l.],

v. 11, 2023. Disponível em: <https://revistas.cesmac.edu.br/administracao/article/view/1564>. Acesso em: 12 de junho de 2024.

HAMID, S. R.; ISA, S.; CHEW, B., C.; ALTUN, A. **Quality Management Evolution from the Past to Present: Challenges for Tomorrow**. Organizacija, Gebze, v. 52, n. 3, 3 August 2019.

ISO. **ISO 9000: Quality management systems - Requirements [Online]**. 5th ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. Disponível em: <[https://www.iso.org/iso/quality\\_management](https://www.iso.org/iso/quality_management)>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

ISO. **ISO 9001: Quality management systems - Requirements [Online]**. 5th ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:en>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

JAVAID, M. et al. **Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector**. Sensors International, v. 2, p. 100109, 2021.

KILIN, C.; MARTINS OLIVEIRA, G.; MANCUZO, F. **Indústria 4.0 E Os Conceitos Utilizados Nas Organizações**. Revista Conectus: Tecnologia, Gestão e Conhecimento, [S. l.], v. 1, n. 3, 2021. Disponível em: <https://revista.ftec.com.br/index.php/01/article/view/48>. Acesso em: 15 de junho de 2024.

LIU, M. et al. **Performance optimization for blockchain-enabled industrial internet of things (iiot) systems: A deep reinforcement learning approach**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019.

MAXIMIANO, Antonio César Amaru. **Teoria Geral da Administração: da Escola Científica à Competitividade na Economia Globalizada**. São Paulo: Atlas, 1997.

MORAIS, M. de O.; COSTA NETO, PL de O.; SANTOS, OS dos; CARDOSO JR, AP.; SACOMANO, JB. **A evolução da qualidade na indústria 4.0**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, pág. e3929108634, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8634. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8634>. Acesso em: 02 de junho de 2024.

MORAIS, M. de O.; MORAIS, GA. **A importância da atualização de ferramentas da qualidade em metodologias aplicadas na indústria 4.0**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, n. 1, p. e28610111719, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.11719. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/11719>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

NARULA, S.; PRAKASH, S.; DWIVEDY, M.; TALWAR, V.; TIWARI, S. **Industry 4.0 adoption key factors: an empirical study on manufacturing industry**. Emerald Insight, v. 17, n. 5, p. 697-725, July 2020.

OLIVEIRA, G. T.; MARTINS, R. A. **Efeitos da adoção do modelo do Prêmio Nacional da Qualidade na medição de desempenho: estudos de caso em empresas ganhadoras do prêmio**. Revista Gestão & Produção, v. 15, n. 2. 2008.

PALADINI, M. M. d. C. E. P. **Gestão da Qualidade - Teoria e Casos**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier Editora, 2012.

PAGE, Matthew J. et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews**. *International Journal of Surgery*, v. 88, p. 105906, 2021.

PINTO, L. H. A.; LIMA, O. P. de; MADURO, M. R. **Implicações da manufatura avançada na era da indústria 4.0: desafios e oportunidades**. *Revista de Gestão e Secretariado*, [S. l.], v. 15, n. 6, p. e3906, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i6.3906. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3906>. Acesso em: 02 de julho de 2024.

RADZIWILL, N. **Let's Get Digital: the many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality**. *Quality Progress (ASQ)*, p. 24-29, October 2018.

SACOMANO, J.; GONÇALVES, R.; BONILLA, S. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018.

SANTOS, B. P. et al. **Indústria 4.0: Desafios e oportunidades**. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 2018. v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.

SANTOS, R. C. **Proposta de modelo de avaliação de maturidade da Indústria 4.0**. Coimbra, Abril 2018.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2019.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. Genebra: World Economic Forum, 2016.

SISODIA, R.; FORERO, D. V. **Quality 4.0 - How to Handle Quality in the Industry 4.0 Revolution**. Department of Technology management and economics, Chalmers University of Technology. Gothenburg. 2020.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

TOLEDO, J.; BORRÁS, M.; MERGULHÃO, R.; MENDES, G. **Qualidade - Gestão e Métodos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2017.

WILSON, J. P.; CAMPBELL, L. **ISO 9001:2015: the evolution and convergence of quality management and knowledge management for competitive advantage**. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2018. DOI: 10.1080/1478336302018.1445965

YOSHIDA, N. D. **Bibliometric Analysis: A Study Applied to Technological Forecasting**. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, v. 2, n. 1, p. 52-84, 2010.

ZHONG, R.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. **Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review**. *Engineering*, v. 3, p. 616-630, 2017.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA

**Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 25 de setembro de 2024.

Milene Pereira Toledo  
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201949008  
Matrícula

Milene Pereira Toledo  
ASSINATURA

140.232.556-88  
CPF

<sup>1</sup> LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.