

# **Qualidade 4.0: Os Desafios Futuros da Gestão da Qualidade**

**Nádia Sofia Jorge Monteiro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2<sup>o</sup> ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

**julho de 2021**



# Agradecimentos

Uma dissertação de mestrado é um longo processo, que inclui uma jornada cheia de desafios, incertezas, alegrias e desânimo. Apesar deste percurso solitário, existem contributos de diversas pessoas para encontrar o rumo em cada momento. Portanto, seguir este caminho só foi possível com o apoio, energia e força de várias pessoas.

Começo por fazer um agradecimento à Professora Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade, pelo acompanhamento prestado, apoio, compreensão e paciência que teve para comigo na elaboração desta dissertação.

De igual modo agradeço à Universidade da Beira Interior pela forma como fui recebida, a todos os funcionários pela boa disposição, simpatia e carinho, em especial aos docentes que me permitiram adquirir conhecimentos através das suas competências e formação, sem eles não teria sido possível a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que confiaram e me apoiaram na concretização do mestrado, em especial às minhas amigas Fernanda Paula, Helena Parente e Ana Cláudia Pereira, que sempre estiveram presentes em toda esta etapa da minha vida.

Agradeço a todos os meus colegas do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial, pelo auxílio e carinho demonstrado, em especial à Cristiana Cruz, pelo apoio e amizade.

Por último, à minha família, em especial aos meus pais, agradeço por todo o apoio económico, pela força e carinho que sempre me prestaram ao longo de toda a minha vida académica, bem como, à minha irmã e aos meus três primos Ana, Marta e Rafael Fonseca por todo o apoio, palavras de incentivo constantes e amizade.



# Resumo

A Qualidade é um pilar indispensável para qualquer setor de atividade. Esta área organizacional, passou por várias etapas evolutivas durante a história da humanidade, que foram sempre acompanhadas por Revoluções Industriais. Atualmente o mundo encontra-se na 4<sup>a</sup> Revolução Industrial ou Indústria 4.0, este advento é caracterizado pelas tecnologias e pela digitalização, e por isso a gestão da qualidade precisará de se adequar para atender às novas necessidades do mercado e às características das fábricas do futuro.

A Gestão da Qualidade está numa fase de evolução, por apresentar tendências que acompanham a transição para o modelo da Indústria 4.0. Com o auxílio das novas ferramentas desta indústria, pode haver uma melhoria constante de processos, produtos e também de desempenho operacional, surgindo assim uma perspectiva nova de qualidade, a designada Qualidade 4.0.

A presente dissertação tem como objetivo geral promover uma discussão entre o pensamento de vários autores sobre o desenvolvimento do controlo da qualidade no contexto da Indústria 4.0, e apresentar como contributo a aplicação de tecnologias e dispositivos da Indústria 4.0 à gestão da qualidade, particularmente aos processos de controlo da qualidade.

## Palavras-chave

Indústria 4.0; *Smart Factory*; Gestão de Qualidade; Qualidade 4.0; Controlo de Qualidade.



# **Abstract**

Quality is an indispensable pillar for any sector of activity. This organizational area has gone through several evolutionary stages during human history, which have always been accompanied by Industrial Revolutions. Currently, the world is in the 4th Industrial Revolution or Industry 4.0, this advent is characterized by technologies and digitalization, and therefore the quality management will need to adapt to meet the new market needs and the characteristics of the factories of the future.

Quality Management is in a phase of evolution, as it presents trends that accompany the transition to the Industry 4.0 model. With the help of the new tools of this industry, there can be a constant improvement of processes, products and also of operational performance, thus giving rise to a new perspective of quality, the so-called Quality 4.0.

The present dissertation has as general objective to promote a discussion among the thoughts of several authors about the development of quality control in the context of Industry 4.0, and to present as a contribution the application of technologies and devices of Industry 4.0 to quality management, particularly to processes of quality control.

## **Keywords**

Industry 4.0; Smart Factory; Quality management; Quality 4.0; Quality Control



# Índice

|   |      |
|---|------|
| Agradecimentos .....                                    | iii  |
| Resumo .....  | v    |
| Abstract.....   | vii  |
| Índice .....  | ix   |
| Lista de Figuras.....                                   | xi   |
| Lista de Tabelas .....                                  | xiii |
| Lista de Acrónimos .....                                | xv   |
| Capítulo 1. Introdução .....                            | 1    |
| 1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido .....    | 1    |
| 1.2. Motivações .....                                   | 3    |
| 1.3. Objetivos .....                                    | 3    |
| 1.4. Metodologia .....                                  | 4    |
| 1.5. Estrutura da dissertação .....                     | 5    |
| Capítulo 2. Qualidade .....                             | 7    |
| 2.1. Evolução do conceito de Qualidade .....            | 7    |
| 2.2. Definição .....                                    | 11   |
| 2.3. Ferramentas.....                                   | 15   |
| 2.3.1. Fluxograma.....                                  | 16   |
| 2.3.2. Diagrama de Pareto .....                         | 17   |
| 2.3.3. Diagrama de Ishikawa .....                       | 19   |
| 2.3.4. Histograma .....                                 | 21   |
| 2.3.5. Folhas de verificação .....                      | 22   |
| 2.3.6. Cartas de controlo .....                         | 23   |
| 2.3.7. Diagrama de Dispersão .....                      | 25   |
| 2.4. Importância da Qualidade .....                     | 26   |
| 2.5. Custos da Qualidade .....                          | 29   |
| Capítulo 3. Indústria 4.0.....                          | 33   |
| 3.1. Revoluções Industriais.....                        | 33   |
| 3.2. Noção e Essência da Indústria 4.0.....             | 36   |
| 3.3. Principais Tecnologias .....                       | 39   |
| 3.3.1. <i>Big Data and Analytics</i> .....              | 41   |
| 3.3.2. Robôs autónomos .....                            | 42   |
| 3.3.3. Simulações.....                                  | 44   |
| 3.3.4. Integração do sistema horizontal e vertical..... | 45   |
| 3.3.5. <i>The Internet of Things (IoT)</i> .....        | 46   |

|  |   |     |
|--|---|-----|
| 3.3.6.                                 | <i>Cyber</i> Segurança.....   | 47  |
| 3.3.7.                                 | <i>Cloud</i> .....  | 48  |
| 3.3.8.                                 | <i>Additive Manufacturing</i> .....   | 50  |
| 3.3.9.                                 | Realidade Aumentada.....  | 51  |
| 3.4.                                   | Princípios da Indústria 4.0 .....   | 52  |
| 3.4.1.                                 | Descentralização do trabalho.....   | 53  |
| 3.4.2.                                 | Virtualização .....   | 53  |
| 3.4.3.                                 | Interação .....   | 54  |
| 3.4.4.                                 | Flexibilidade.....  | 54  |
| 3.4.5.                                 | Capacidade em tempo real.....   | 55  |
| 3.4.6.                                 | Orientação para serviços.....   | 56  |
| 3.5.                                   | Benefícios e Desafios da Indústria 4.0 .....                                | 57  |
| Capítulo 4. Qualidade 4.0 .....        |   | 61  |
| 4.1.                                   | O que é a Qualidade 4.0? .....  | 61  |
| 4.2.                                   | Qualidade 4.0 vs. Qualidade tradicional.....                                | 66  |
| 4.3.                                   | Eixos e Ferramentas da Qualidade 4.0 .....                                  | 70  |
| 4.4.                                   | Controlo da Qualidade na Indústria 4.0 .....                                | 78  |
| 4.5.                                   | Como Implementar a Qualidade 4.0.....                                       | 82  |
| 4.6.                                   | Estado Atual da Qualidade 4.0.....  | 85  |
| 4.7.                                   | Benefícios da Implementação da Qualidade 4.0.....                           | 88  |
| 4.8.                                   | Qualidade, Inovação e Tecnologias.....                                      | 94  |
| 4.9.                                   | O Perfil do Novo Profissional da Qualidade .....                            | 97  |
| 4.10.                                  | Qualidade da Informação .....   | 101 |
| 4.11.                                  | Clientes da Era 4.0 .....   | 104 |
| 4.12.                                  | Análise de Casos de Estudo .....  | 107 |
| 4.12.1.                                | Estudo de caso N <sup>o</sup> 1.....  | 110 |
| 4.12.2.                                | Estudo de caso N <sup>o</sup> 2 .....                                       | 111 |
| 4.12.3.                                | Estudo de caso N <sup>o</sup> 3 .....                                       | 111 |
| 4.12.4.                                | Estudo de caso N <sup>o</sup> 4 .....                                       | 112 |
| 4.13.                                  | Proposta de aplicação das ferramentas da Indústria 4.0 para a Qualidade.... | 113 |
| Capítulo 5. Considerações finais ..... |   | 125 |
| 5.1.                                   | Conclusões .....  | 125 |
| 5.2.                                   | Limitações e Trabalhos Futuros .....  | 127 |
| Referências Bibliográficas .....       |   | 129 |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-Estrutura da Dissertação .....  | 6  |
| Figura 2-Fluxograma .....  | 17 |
| Figura 3-Diagrama de Pareto .....  | 19 |
| Figura 4-Diagrama de causa-efeito .....  | 20 |
| Figura 5- Histograma .....   | 22 |
| Figura 6-Folha de verificação .....  | 23 |
| Figura 7- Explicação das Cartas de Controlo .....  | 24 |
| Figura 8-Diagrama de dispersão com inclinação positiva .....                               | 25 |
| Figura 9-Classificação dos custos da qualidade .....                                       | 31 |
| Figura 10-As Quatro Revoluções Industriais .....   | 36 |
| Figura 11-Essência da Quarta Revolução Industrial .....                                    | 37 |
| Figura 12-Tecnologias e diversas áreas relacionadas com a <i>Smart Factory</i> .....       | 38 |
| Figura 13-Principais tecnologias associadas à Indústria 4.0 .....                          | 41 |
| Figura 14-Robôs .....  | 43 |
| Figura 15-Simulação .....  | 45 |
| Figura 16-Internet of Things (IoT) .....   | 47 |
| Figura 17- <i>Cyber</i> segurança .....  | 48 |
| Figura 18- Integração da <i>Cloud</i> numa organização .....                               | 49 |
| Figura 19-Impressão 3-D .....  | 50 |
| Figura 20-Realidade Aumentada .....  | 52 |
| Figura 21-Principais princípios da Indústria 4.0 .....                                     | 52 |
| Figura 22-Evolução da qualidade .....  | 62 |
| Figura 23-Tecnologias e características associadas à Qualidade 4.0 .....                   | 64 |
| Figura 24-Funcionamento da Qualidade 4.0 .....   | 65 |
| Figura 25-Linha do tempo dos desenvolvimentos de qualidade.....                            | 66 |
| Figura 26-Evolução da qualidade tradicional integrada com Quality 4.0. ....                | 67 |
| Figura 27- Os 11 eixos da Qualidade 4.0 .....  | 71 |
| Figura 28-Estrutura da análise da Qualidade 4.0 .....                                      | 72 |
| Figura 29-Elementos da cultura na Qualidade 4.0 .....                                      | 74 |
| Figura 30-Controlo da Qualidade através de ferramentas tecnológicas da Indústria 4.0 ..... | 80 |
| Figura 31-Nível de adoção da Qualidade 4.0 .....   | 86 |
| Figura 32-Atualidade da implementação da Qualidade 4.0 .....                               | 87 |
| Figura 33-Maiores desafios da implementação da Qualidade 4.0 .....                         | 88 |
| Figura 34-Aplicação da Qualidade 4.0 na Indústria .....                                    | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 35- Aplicações da Qualidade 4.0 em diversos departamentos..... | 93  |
| Figura 36- Fatores que influenciam o Desempenho Organizacional .....  | 95  |
| Figura 37- Importância da qualidade da informação .....               | 102 |

# Lista de Tabelas

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1-Eras da qualidade.....  | 11  |
| Tabela 2-Definições de qualidade segundo vários autores.....   | 12  |
| Tabela 3-Cinco abordagens de Qualidade .....   | 14  |
| Tabela 4-Distribuição de frequências para a construção do Diagrama de Pareto .....                                 | 18  |
| Tabela 5-Lista de dados .....  | 21  |
| Tabela 6-Custos de Qualidade .....   | 32  |
| Tabela 7-Revoluções Industriais.....   | 35  |
| Tabela 8-Comparação entre a Indústria 4.0 e a Qualidade 4.0 .....  | 65  |
| Tabela 9- Diferença entre as metas de qualidade tradicional e Qualidade 4.0 .....                                  | 69  |
| Tabela 10-Transformação da Qualidade Tradicional na Qualidade 4.0 .....  | 70  |
| Tabela 11- Onze eixos da Qualidade 4.0 .....   | 76  |
| Tabela 12-Ferramentas da Qualidade 4.0 .....   | 77  |
| Tabela 13-Práticas de Gestão de Qualidade e o relacionamento com a inovação das tecnologias da Indústria 4.0 ..... | 96  |
| Tabela 14-Descrição dos casos de estudo relacionados com a Qualidade 4.0.....                                      | 109 |
| Tabela 15-Proposta de aplicações de ferramentas tecnológicas .....   | 114 |



# Lista de Acrónimos

|       |   |
|-------|---|
| AI    | <i>Artificial Intelligence</i>                            |
| AGV's | <i>Automatic Guided Vehicles</i>                          |
| App's | <i>Applications</i>                                       |
| ASQ   | <i>American Society for Quality</i>                       |
| BCG   | <i>Boston Consulting Group</i>                            |
| CGI   | <i>Conseiller en Gestion et Informatique</i>              |
| CNN   | <i>Convolutional Neural Network</i>                       |
| CPS   | <i>Cyber Physical System</i>                              |
| EQMS  | <i>Enterprise Quality Management System</i>               |
| ISO   | <i>International Organization for Standardization</i>     |
| IoT   | <i>Internet of Things</i>                                 |
| IoS   | <i>Internet of Services</i>                               |
| IT    | <i>Information Technology</i>                             |
| I4.0  | <i>Indústria 4.0</i>                                      |
| LED   | <i>Light-emitting diode</i>                               |
| LIC   | <i>Limite Superior de Controlo</i>                        |
| LSC   | <i>Limite Inferior de Controlo</i>                        |
| ML    | <i>Machine Learning</i>                                   |
| OT    | <i>Operations Technology</i>                              |
| P&D   | <i>Pesquisa e desenvolvimento</i>                         |
| PoC   | <i>Proof of Concept</i>                                   |
| QR    | <i>Quick Response</i>                                     |
| Q4.0  | <i>Qualidade 4.0</i>                                      |
| RA    | <i>Realidade Aumentada</i>                                |
| RFID  | <i>Radio Frequency Identification</i>                     |
| TPS   | <i>Toyota Production System</i>                           |
| UNIDO | <i>United Nations Industrial Development Organization</i> |
| VOC   | <i>Voice of the Customer</i>                              |



# Capítulo 1. Introdução

Neste capítulo é apresentada a contextualização do trabalho desenvolvido, introduzindo a temática estudada, as motivações para abordar o tema em questão, os objetivos do estudo, a metodologia utilizada, e por último, a estrutura da presente dissertação.

## 1.1. Contextualização do Trabalho Desenvolvido

O mundo da tecnologia está em constante evolução, dando origem a novas realidades e a uma grande competitividade entre as organizações. Perante esta situação, as organizações vêem-se obrigadas a melhorar a eficiência das suas operações, instituir objetivos mais ambiciosos e adotar estratégias que lhes garantam vantagens competitivas (Kacprzyk, 2020).

Pode-se afirmar que ao longo da história, a sociedade, tal como a conhecemos, foi protagonista de inúmeras mudanças de paradigmas. Algumas das mais marcantes estão vinculadas as revoluções industriais (Clark, 2016).

É neste contexto que surge a Indústria 4.0, que deu origem a novos conceitos no que diz respeito a sistemas de produção, criados a partir de uma combinação de tecnologias, fazendo com que existam comunicações, atividades e tomadas de decisões mais eficientes, e para que isso aconteça de uma forma eficaz, a gestão da qualidade nos processos deve ser excelente (Radziwill, 2020). Deste modo, as empresas que implementam as tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0), estão a enfrentar desafios, tais como, adequar as práticas de gestão atual e promover abordagens inovadoras em todas as áreas organizacionais, incluindo a gestão da qualidade, que é uma área multidisciplinar e crucial para a empresa (Kacprzyk, 2020).

Segundo Ngai et al. (2018), a Gestão da Qualidade é um tema perene no mundo contemporâneo, marcado pela tecnologia que representa a era da Indústria 4.0, ao mesmo tempo é repleto de turbulência, dadas as expectativas sem precedentes dos clientes.

De acordo com Foidl et al. (2016a), na Indústria 4.0, a qualidade deve ser relevante, uma vez que a precisão, a produtividade e os custos são elementos cada vez mais presentes neste cenário, onde os sensores, *softwares* e a flexibilidade tornam-se sinónimos de

eficiência e eficácia. Portanto, a gestão da qualidade é um pré-requisito essencial e fundamental para o sucesso económico e sustentável das empresas.

A qualidade faz parte do quotidiano das organizações independentemente do ramo da atividade e abrangência de atuação (António et al., 2007). As expectativas crescentes dos clientes, a competitividade do mercado e o aumento contínuo da complexidade dos produtos, são as razões pelas quais a gestão da qualidade se torna indispensável em qualquer organização (Foild et al., 2016b).

Sendo assim, a qualidade na Indústria 4.0 é uma filosofia que avalia o ponto central dos negócios de uma organização e de todos os que a envolvem, ou seja, é um sistema onde todas as pessoas, de todos os setores, de todos os níveis hierárquicos da organização cooperam para promover e vigorar todas as atividades da qualidade por toda a empresa.

A Qualidade 4.0 é uma referência à Indústria 4.0, proporcionando uma oportunidade de utilização das tecnologias e dispositivos, utilizados por esta últimas, no sentido de obter a excelência operacional. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de uma estratégia eficaz para a implementação da Qualidade 4.0, permitirá que as organizações resolvam problemas que não foram totalmente resolvidos ao longo dos anos, tais como: a comunicação ineficiente e a fragmentação de dados em sistemas tradicionais de qualidade. Este conceito oferece uma oportunidade para as organizações analisarem detalhadamente as causas e as consequências da inovação de processos e produtos (Radziwill, 2020). Além disso, a qualidade é um fator crucial para a sobrevivência das empresas, sobretudo em ambientes altamente competitivos (Silva et al., 2011). Portanto, a correta compreensão do conceito de Qualidade 4.0 é extremamente relevante, para que possa ser aplicado de forma estratégica.

Segundo Kupper et al. (2019), a Qualidade 4.0 (Q4.0) é a aplicação das tecnologias digitais da Indústria 4.0 para gerir a qualidade, tendo um papel fundamental a desempenhar na “fábrica do futuro”. Os seus diversos benefícios incluem a monitorização de processos em tempo real e a recolha de dados. No entanto, estas tecnologias são apenas um elemento de transformação para a criação de uma qualidade mais ampla. Ou seja, a Q4.0 não se trata apenas de tecnologia, mas sim de como a tecnologia poderá melhorar a cultura organizacional, as competências profissionais dos colaboradores e a liderança, assim como a transformação digital dos sistemas de gestão de qualidade (Jacob, 2017). Posto isto, esta temática apresenta-se como sendo relevante, visto que, ostenta diversos benefícios para a indústria, novas oportunidades e a redução

de tempo e custos de produção (Foild et al., 2016b). Aliás, é um pré-requisito essencial e a chave para o sucesso económico sustentável de qualquer organização (Evans et al., 2015), que proporciona um alinhamento das funções da qualidade e possibilita a eficiência empresarial (Jacob, 2017).

Neste contexto, a I.4.0 está a afetar a forma como as empresas abordam a Gestão da Qualidade, daí ser necessário caracterizar a sua contribuição, a sua influência e os seus benefícios. Desta forma, o presente trabalho pretende apresentar as novas aplicações das tecnologias e dispositivos da Indústria 4.0, que poderão influenciar a gestão da qualidade, bem como, os possíveis impactos que resultarão da Qualidade 4.0. Logo, este estudo é uma abordagem da qualidade através dos aspetos conceituais e uma perspetivada dentro da ótica industrial.

## **1.2. Motivações**

A principal motivação para este trabalho foi analisar e difundir o conhecimento relacionado com a Indústria 4.0 e o novo conceito que surgiu com ela, a Qualidade 4.0, de modo a facilitar o trabalho dos profissionais desta área e das empresas, dotando-se de ferramentas que lhes permitam tirar partido das vantagens da implementação de soluções de base tecnológica para conseguirem alcançar uma melhor produtividade.

A escolha deve-se ao seu grande potencial de transformação da competitividade industrial, pela ambição de aprofundar conhecimentos na área de Gestão da Qualidade e pelo facto de o conhecimento existente sobre a qualidade defender que pode constituir um verdadeiro fator crítico de sucesso. Outra motivação foi a de conhecer na prática como as empresas estão a lidar atualmente com os avanços tecnológicos, e de que forma elas conseguirão beneficiar desses avanços para um melhor entendimento e satisfação das necessidades dos consumidores, para aumentarem a sua produtividade, reduzirem custos e aumentar a sua competitividade.

## **1.3. Objetivos**

A presente dissertação tem como objetivo geral promover uma discussão entre o pensamento de vários autores sobre o desenvolvimento do controlo da qualidade no contexto da Indústria 4.0, e apresentar como contributo a aplicação de tecnologias e dispositivos da Indústria 4.0 à gestão da qualidade, particularmente aos processos de controlo da qualidade. Além disso, a revisão bibliográfica sobre a temática, pretende,

abrir caminho para um maior desenvolvimento da Qualidade 4.0 e as suas variáveis mais relevantes, onde o foco é a excelência.

Dado que o tema Qualidade 4.0 ainda é um conceito novo, este trabalho apresenta vários objetivos concretos de género qualitativo, pelo que se poderá afirmar que o trabalho se baseará na análise e síntese da literatura existente. Os objetivos específicos são:

- Descrever o desenvolvimento do conceito de Qualidade e de Gestão da Qualidade;
- Descrever o conceito de Indústria 4.0 e o impacto da sua implementação na organização e métodos de trabalho;
- Identificar as principais tecnologias da Indústria 4.0;
- Analisar casos práticos da aplicação do conceito Qualidade 4.0;
- Identificar a aplicabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 a processos de controlo da qualidade, através da análise de casos de estudo;
- Propor novas aplicações das tecnologias e dispositivos da Indústria 4.0 à gestão da qualidade, em particular aos processos de controlo da qualidade.

#### **1.4. Metodologia**

A base de qualquer processo de investigação tem de seguir uma sequência lógica, tendo início na definição do tema de estudo e seguido de uma revisão literatura, abordando diversas informações existente, bem como várias perspetivas (Saunders et al. 2009).

A preparação deste estudo implica uma recolha de informação, para a sustentação do conteúdo do trabalho (Ying, 2019). Posto isto, a presente dissertação foi elaborada com base na abordagem teórica, em que a pesquisa e recolha de dados consistem numa análise com recurso ao estudo bibliográfico, através de artigos científicos, estudos de caso, livros, sites fidedignos e instituições governamentais, para que haja uma consolidação deste estudo, ou seja, quanto mais diversificada for a recolha, melhor e mais válida será a discussão dos resultados, o que significa que estamos perante um trabalho de género exploratório.

Esta revisão bibliográfica permitiu a observação de diferentes abordagens da Qualidade, como as diferentes definições adotadas por autores de diversos países, os impactos provocados pelas novas tecnologias, além das tendências futuras relacionadas com este conceito aplicado aos processos industriais.

Relativamente aos resultados de pesquisa, pode considerar-se uma pesquisa qualitativa, visto que, abrange a evolução da Indústria 4.0 e da Qualidade, ferramentas que incluem

ambos os conceitos e a sua natureza, por isso, está se perante uma investigação do tipo básica. O pretendido é o esclarecimento sobre o tema abordado, acrescentando conhecimento, ao nível das novas aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 à gestão da qualidade e o conceito Qualidade 4.0, com o intuito de que este estudo possa ser aplicado em futuras pesquisas e trabalhos.

## **1.5. Estrutura da dissertação**

Este trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos:

No capítulo 1 é apresentada a contextualização do estudo desenvolvido, as motivações para a sua realização, a definição dos objetivos da pesquisa, a metodologia utilizada e a estrutura da presente dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica, focada na abordagem de questões relacionados com a gestão da qualidade, considerando aspetos relacionados com a sua evolução, definição do conceito de qualidade, as suas principais ferramentas, a importância da qualidade e os diversos custos da qualidade.

No capítulo 3, apresenta-se o enquadramento da Indústria 4.0, no qual são abordadas algumas definições do conceito, origens e progresso até à atualidade, as suas principais ferramentas e princípios e os benefícios e desafios da implementação da Indústria 4.0.

No capítulo 4, é abordada a noção de Qualidade 4.0, a comparação entre a qualidade tradicional e este novo conceito, os eixos e ferramentas da Qualidade 4.0 e o controlo de qualidade na Indústria 4.0. Além disso, são apresentados os benefícios e como proceder à implementação da Qualidade 4.0, salienta-se também a importância das tecnologias e da inovação, o perfil do novo profissional de qualidade, a importância da qualidade da informação e os novos tipos de clientes. No fim do capítulo é exposta uma análise de casos de estudo e são apresentadas propostas de aplicação das ferramentas tecnológicas para a melhoria da qualidade.

Na última parte do trabalho encontram-se as considerações finais, as limitações do presente trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Na Figura 1 apresenta-se um esquema da estrutura da presente dissertação.

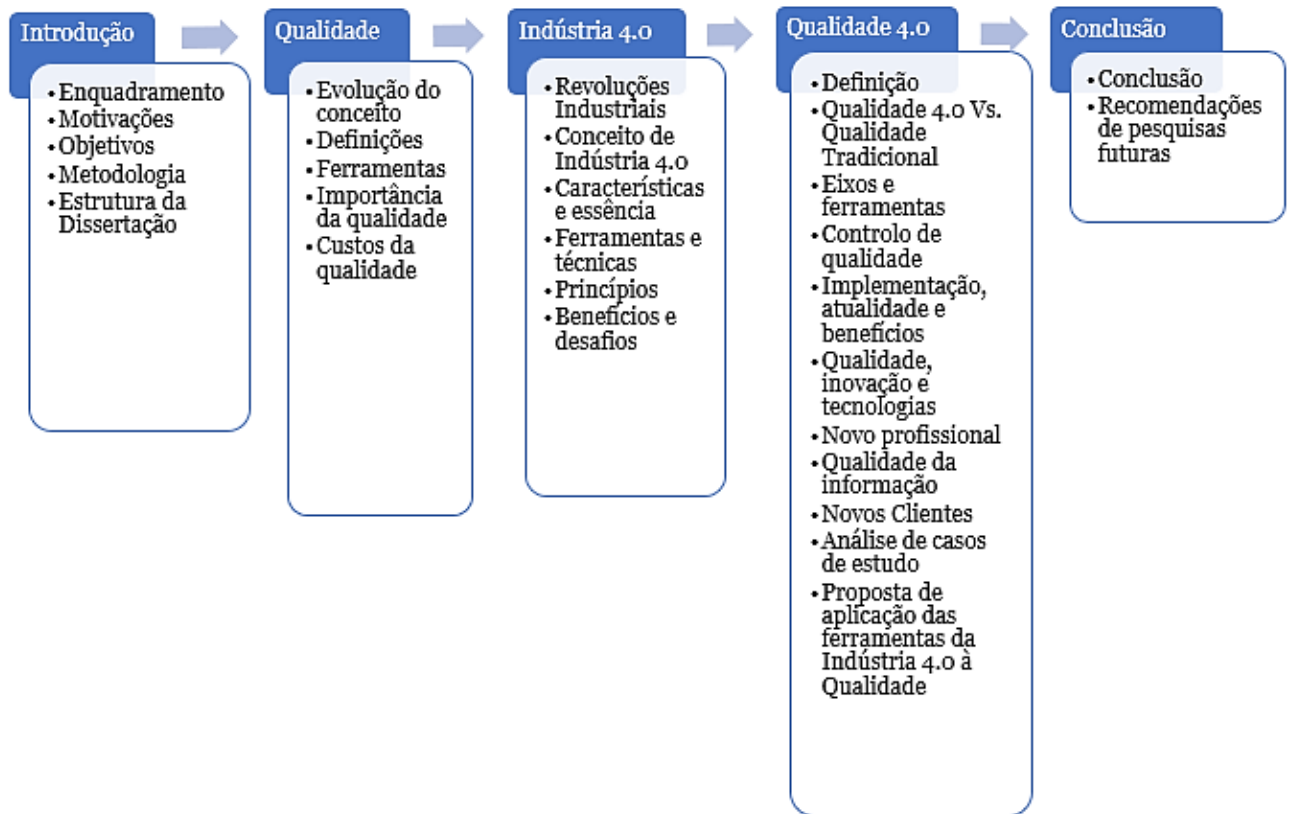


Figura 1-Estrutura da Dissertação

# Capítulo 2. Qualidade

Este capítulo introduz a temática e os aspetos fundamentais que englobam o conceito de Qualidade. São apresentadas diversas perspetivas deste conceito e a sua evolução, bem como, as várias ferramentas e os custos associados à qualidade.

## 2.1. Evolução do conceito de Qualidade

O conceito de qualidade não é novo. Ao rever a história é possível identificar várias preocupações sobre a qualidade, tanto de produtos como de serviços, que surgiram desde a origem da humanidade, ou seja, a qualidade existe desde os tempos mais remotos da história, embora tenha sofrido várias modificações ao longo dos tempos (Rodrigues, 2014). Por isso, para entender o conceito de Qualidade, é necessário abordar um pouco da sua história, interpretar este conceito e a sua evolução à luz do ambiente produtivo vigente de cada época (Paladini et al., 2012).

O primeiro grande marco da qualidade prolongou-se até meados do século XIX, devido ao desenvolvimento das sociedades e com o surgimento de aglomerados populacionais, o que originou necessidades de abastecimento de produtos. Nessa época, quase tudo, era fabricado por artesãos, através de procedimentos tradicionais (Junior et al., 2010). O artesão era um especialista que tinha um domínio completo e amplo de todo o ciclo de produção, desde a conceção do produto até ao pós-venda. O cliente encontrava-se próximo do fabricante, explicando as suas necessidades, às quais o produtor procurava atender, visto que, sabia que a comercialização dos seus produtos dependia maioritariamente da sua reputação (Paladini et al. 2012). Além disso, as quantidades produzidas eram pequenas e havia ações laborais por parte do trabalhador em praticamente todas as fases do processo, sendo que, a inspeção era implementada de acordo com critérios específicos elaborados pelo próprio artesão e pela sua equipa restrita de colaboradores (Junior et al., 2010).

No século XIX, devido ao surgimento da produção em massa, a inspeção passa a evidenciar-se formalmente, como uma atividade necessária para o controlo da qualidade, sendo vista, pela primeira vez, como uma função independente. Nesta altura, a qualidade pretendia, essencialmente, a conformidade dos bens ou serviços vendidos ao cliente. Posto isto, os produtos que continham defeitos, ou seja, aqueles que não correspondiam aos padrões previamente definidos, eram descartados (Gavin, 1988). Conclui-se que a inspeção da qualidade se limitava apenas à verificação e outras atividades restritas, como

a contagem e a reparação, isto é, a qualidade era vista apenas como a resolução dos problemas, com ênfase na uniformidade do produto, utilizando como métodos de controlo os instrumentos de medição (Junior et al., 2010).

Numa fase posterior, surgiu a era do controlo estatístico. A Segunda Guerra Mundial, criou uma grande necessidade de produtos, o que levou à procura de novas técnicas de controlo da produção e da qualidade. As técnicas estatísticas, nessa época, foram bastante aperfeiçoadas e utilizadas (Rodrigues, 2014). Durante 20 anos, o interesse principal estava no controlo da qualidade, o foco era a uniformidade dos produtos com menos inspeção, tendo como auxílio ferramentas e técnicas estatísticas (Duffy, 2013).

Por volta do final da Segunda Grande Guerra Mundial, a qualidade já tinha conquistado o seu lugar e passou a ser uma disciplina bem-aceite no ambiente organizacional, com técnicas específicas e resultados efetivos, com profissionais especializados e bem-caracterizados na especialidade (Junior et al., 2010). Segundo Paladini et al. (2012), na altura da Segunda Guerra Mundial, as conquistas do controlo estatístico da qualidade disseminaram-se, mas foi no período pós-guerra que os novos elementos da Gestão da Qualidade surgiram.

Neste período, após a derrota que sofrera na guerra, o Japão encontrava-se literalmente destruído e precisava de iniciar o seu processo de reconstrução. Através das inúmeras palestras proferidas para diversos líderes industriais japoneses, por dois consultores americanos, Joseph Juran e Edward Deming, que tinham em vista a reconstrução do país, a conquista de novos mercados e a melhoria da reputação dos produtos japoneses, o Japão conseguiu fazer uma grande recuperação económica. Estas abordagens baseavam-se na Trilogia de Juran (planeamento, controlo e melhoria de processos), no novo controlo de qualidade através dos aspetos tecnológicos e na análise estatística de dados (Paladini et al., 2012).

A determinação e a perseverança dos japoneses, associada às novas práticas de controlo e produção, originaram modelos e técnicas de gestão peculiares. Há que destacar um japonês, Karou Ishikawa. Ishikawa, que foi um aprendiz de Deming, e que lançou a ideia das Sete Ferramentas para o Controlo Estatístico da Qualidade, os Círculos de Controlo da Qualidade, e ainda, o Diagrama de Causa e Efeito (Rodrigues, 2014). Também, por esta altura, surgiu um movimento muito importante, desenvolvido por Philip Crosby, que se denominou por movimento dos Zero Defeitos e uma filosofia que consiste em

“fazer bem à primeira vez”, ambos ainda hoje são usados em toda a indústria (Paladini et al., 2012).

Mais tarde, em 1987, devido à globalização, surgiu o modelo normativo da *International Organization for Standardization* (ISO), com a série 9000, para a âmbito da Qualidade. A ISO 9001 disseminou-se rapidamente e tornou-se num requisito para muitas organizações. Embora esta norma seja de caráter voluntário, é bastante vantajosa ao nível da exportação e facilita a relação entre o cliente e o fornecedor (Paladini et al., 2012).

De seguida, surgiu a gestão da qualidade total, onde a qualidade está focada no negócio, nos clientes, em todas as partes interessadas na organização, na preservação de falhas e no aumento de quota de mercado. Nesta fase a qualidade, é mais abrangente, pois o conceito de qualidade é aplicado em diversas áreas da empresa. A gestão de topo reconhece que a qualidade é primordial para o crescimento da organização e, sendo assim, deve ser integrada na gestão estratégica do negócio da organização. A qualidade deixou de ser um aspeto somente do produto e a responsabilidade de um só departamento específico, e passou a ser um problema de toda a empresa, incluindo, os diversos aspetos das operações organizacionais (Goetsch et al., 2013).

E, por último, no ano de 2000, a ISO emitiu uma grande revisão da família 9000, onde reduziu o número de documentos na série e colocou mais ênfase nos conceitos de trabalho, processos e clientes. A ISO 9001, que pertence à família da ISO 9000, foi concebida para incorporar os princípios da gestão da qualidade, de uma forma mais “amigável” (Tague, 2005), com o objetivo de melhorar continuamente o desempenho das organizações, a longo prazo, concentrando-se nos clientes, e ao mesmo tempo, nas necessidades de todas as partes interessadas (Bauer, 2006). A mudanças incluíram os sete princípios da gestão de qualidade, que são: foco no cliente, liderança, comprometimento das pessoa, abordagem de processos, melhoria contínua, tomada de decisão baseada na evidência e gestão das relações (Tague, 2005). Além disso, são aplicáveis, de forma simples, a qualquer tipo de organização, independentemente do tipo ou dimensão (Duffy, 2013).

Segundo Junior et al. (2010), hoje em dia, a qualidade é um termo que faz parte das empresas, independentemente do ramo de atividade. Para além disso, a qualidade, atualmente, está relacionada com os projetos, planos e objetivos organizacionais, e também com a melhoria contínua de processos.

De acordo com Weckenmann et al. (2015), a história da Qualidade, exhibe um desenvolvimento constante, sempre visando a conquista de uma qualidade mais ampla e eficiente, tanto para os produtos, como para os serviços. Durante o último século as questões relacionadas com a qualidade têm aumentado, e focam-se não só nos produtos, mas também, nos processos, produtos, *stakeholders*, fornecedores, clientes e recursos humanos, entre outros. Além disso, a qualidade também engloba assuntos relacionados com a responsabilidade social e ambiental, o que faz com que a gestão da qualidade constitua um dos fatores de sucesso de qualquer empresa.

Um traço comum na evolução da gestão da qualidade é que a sua importância tem aumentado progressivamente na hierarquia organizacional. A qualidade foi inicialmente considerada uma questão do trabalhador, de seguida, do inspetor, do supervisor, e hoje, da gestão de topo. A qualidade continuará a aumentar a sua relevância, em conjunto com as exigências do cliente (Pyzdek et al., 2013).

Na Tabela 1, apresenta-se resumidamente a evolução da qualidade a qual foi classificada em quatro eras distintas (Garvin, 1988).

Tabela 1-Eras da qualidade (Adaptado de Garvin, 1988)

| <b>Características básicas</b>   | <b>Interesse principal</b> | <b>Ênfase</b>  | <b>Métodos</b>  | <b>Papel dos profissionais de qualidade</b>   | <b>Responsável pela qualidade</b>   |
|----------------------------------|----------------------------|--|---|---|---|
| <b>Inspeção</b>                  | Verificação.               | Uniformidade do produto.   | Inspeção.   | Inspeção, classificação, contagem, avaliação e reparação.   | Departamento de inspeção.   |
| <b>Controlo estatístico</b>      | Controlo.                  | Uniformidade do produto com menos inspeção.  | Ferramentas e técnicas estatísticas.  | Resolução de problemas e aplicação de métodos estatísticos.   | Departamento de produção e engenharia (controlo de qualidade).  |
| <b>Garantia de Qualidade</b>     | Coordenação.               | Toda a cadeia de produção, desde o projeto até à comercialização, e a contribuição de todos os grupos funcionais para impedirem falhas de qualidade. | Programas e sistemas.   | Planeamento, medição da qualidade e desenvolvimento de programas.   | Todos os departamentos de gestão envolvem-se superficialmente no planeamento e na execução das diretrizes da qualidade. |
| <b>Gestão da Qualidade Total</b> | Impacto estratégico.       | Necessidades do mercado e dos clientes.  | Planeamento estratégico, estabelecimento de objetivos e a mobilização da organização. | Estabelecimento de metas, formação e treino, consultoria a outros departamentos e desenvolvimento de programas. | Todos na organização, com a gestão de topo a exercer uma forte liderança.   |

## 2.2. Definição

O termo qualidade vem do latim *Qualitas*, e é utilizado em diversas situações, mas o seu significado nem sempre é de definição clara e objetiva. Fala-se de Qualidade, abordam-se vários conceitos, mas a realidade é que na prática, na maior parte das vezes este conceito não é realmente compreendido, porque não se vai ao fundo da questão (Rodrigues, 2014).

O conceito de qualidade não é novo. A procura, pelo homem primitivo, de materiais mais resistentes para construir armas ou os detalhes que marcaram as edificações da antiga Roma, retratam momentos distintos de um passado distante, mas que através de uma análise crítica e contextualizada são comuns às preocupações com a qualidade atual (Rodrigues, 2014).

Segundo a ASQ (2021a), a qualidade é um termo subjetivo para o qual cada pessoa ou setor tem sua própria definição. No uso técnico, qualidade pode ter dois significados:

- 1) as características de um produto ou serviço que influenciam a capacidade de satisfazer as necessidades declaradas ou implícitas;
- 2) um produto ou serviço livre de defeitos.

A qualidade tem, cada vez mais, um papel presente nas organizações, o que faz com que se torne importante definir este conceito. Para explicar as diferenças de percepções e interpretações sobre este assunto, serão expostos alguns conceitos de qualidade, provenientes de diversos autores denominados “gurus” da qualidade, que são apresentados na Tabela 2, de modo a proporcionar uma melhor compreensão sobre o tema em questão.

Tabela 2-Definições de qualidade segundo vários autores (Adaptado de Rodrigues, 2014)

| <b>Autor</b>      | <b>Definição de qualidade</b>   |
|-------------------|---|
| Edward Deming     | “Qualidade é a capacidade de satisfazer desejos”  |
| Joseph Juran      | “Qualidade é a adequação ao uso”  |
| Kaoru Ishikawa    | “Qualidade é satisfazer o cliente, interno ou externo, atendendo ou excedendo as suas expectativas, através da melhoria contínua de processos “ |
| Philip Crosby     | “Qualidade é ir de encontro às necessidades do cliente”   |
| Armand Feigenbaum | “Qualidade é um conjunto de características do produto ou serviço em uso, as quais satisfazem as expectativas do cliente “                      |
| Genichi Taguchi   | “Qualidade é minimizar as perdas causadas pelo produto não apenas ao cliente, mas também à sociedade, a longo prazo”                            |

De acordo com António et al. (2007), definir o que é a qualidade não é uma tarefa fácil, pois, além de se pretender caracterizar, por meio de poucas palavras, algo bastante complexo e multifacetado, que pode ser abordado através de diversas perspectivas, esta filosofia adota também uma posição onde nada é absoluto. Esta situação conduz à existência de diversas definições do termo qualidade, tantas quanto o número de profissionais existentes no ramo. As diferenças entre as definições, atualmente, não são

muito grandes, representam sim, variações à volta de um conjunto comum de temas e, como tal, não correspondem entre si, antes pelo contrário, completam-se.

Segundo Hoyle (2007), a palavra qualidade está associada a diversos significados, tais como:

- Grau de excelência;
- Conformidade de requisitos;
- Capacidade de satisfazer necessidades declaradas e implícitas;
- Adequado para uso;
- Adequado para um propósito;
- Livre de defeitos e imperfeições;
- Satisfação do cliente.

Além dos significados mencionados anteriormente, a qualidade também pode ser vista através de diversas dimensões (Bauer et al., 2006):

- Confiabilidade, facilidade de manutenção e disponibilidade;
- Qualidade de design versus qualidade de conformidade;
- Facilitadores da qualidade, como por exemplo: padrões;
- Planeamento, controlo e melhoria da qualidade;
- Qualidade como estratégia organizacional.

Mais recentemente Goetsch et al. (2013), definiram a qualidade como sendo um estado dinâmico associado a produtos, serviços, pessoas, processos e ambientes que atendem ou superam as expectativas do cliente e ajudam a acrescentar valor.

Deste modo, a qualidade, para além de uma filosofia de gestão que dispõe de um conjunto de instrumentos, métodos e práticas, constitui um modelo de comunicação integrado, cuja importância é crucial para a prática de uma gestão moderna (Lopes et al., 2007).

Como se pode verificar, encontrar uma única definição consensual para a qualidade é praticamente impossível, por isso Garvin (1988), dividiu este conceito em cinco abordagens distintas. Estas abordagens são: a transcendência, baseado no produto, baseado no utilizador, baseado na produção e baseado no valor, conforme explanadas na Tabela 3.

Tabela 3-Cinco abordagens de Qualidade (Adaptado de Garvin, 1988)

| <b>Abordagem</b>                       | <b>Definição</b>  |
|--|---|
| Transcendência                         | Define a qualidade como excelência inata, constituindo uma propriedade absoluta e universalmente reconhecível.  |
| Baseado no produto                     | Estabelece a qualidade como uma variável precisa, mensurável e diretamente relacionada aos atributos do produto e pode ser avaliada de forma objetiva.<br>Maior qualidade, significa maior custo, portanto produtos mais caros estão associados a produtos com maior qualidade. |
| Baseado no utilizador                  | A qualidade é uma variável subjetiva.<br>Quanto maior for a satisfação do cliente, maior será o nível de qualidade.   |
| Baseado na produção e baseado no valor | Delineia a qualidade como uma variável precisa e mensurável, proveniente do grau da conformidade do planeado executado, ou seja, a qualidade significa conformidade com as especificações.<br>Esta abordagem dá ênfase às ferramentas estatísticas.                             |
| Baseado no valor                       | Define qualidade como o equilíbrio entre o preço e o custo, isto é, um produto de qualidade deve ter o desempenho previsto, a um custo e preço aceitável.<br>Esta abordagem é de difícil aplicação, visto que, é composta por duas noções distintas: excelência e valor.        |

Existem diversas maneiras e sentidos de explicar a qualidade, alguns mais amplos que outros, mas todos se resumem a requisitos e especificações ou à satisfação do cliente (Dale et al., 2016).

Face a tantas definições de qualidade, é necessário procurar um elemento comum que seja simultaneamente tangível, concreto e diretamente observável. Este elemento de interligação é constituído pelas pessoas, ou seja, por indivíduos. São os indivíduos que estabelecem os requisitos, e é para eles que estes são estabelecidos. São os indivíduos que controlam a realização dos processos. São eles que assumem o papel de principais autores no grupo (António et al., 2007).

De acordo com Goetsch et al. (2013), os clientes é que definem a qualidade, usando especificações, padrões e outras medidas. Isto mostra que a qualidade pode ter várias definições e interpretações. Diariamente, as pessoas lidam com questões de qualidade, preocupam-se quando fazem compras, quando comem num restaurante, etc. A qualidade é sempre um fator importantíssimo, pois, cada vez que uma pessoa compra algo, aplica uma série de critérios para poder efetuar essa compra. Isto significa que, o grau de qualidade está relacionado com os padrões e as expectativas do consumidor.

Considera-se, então, que a definição de qualidade não é apenas uma só, mas um conjunto de várias definições, para além disso, também se encontra num estado ativo, ou seja, o significado deste conceito muda com o passar do tempo e com as diferentes circunstâncias contextuais. A qualidade é o ponto central de toda uma organização e tornou-se um aspeto fulcral para a conservação de qualquer empresa, sobretudo em ambientes de alta competitividade. Perante isto, entender este conceito é de extrema relevância, para que a sua aplicação seja eficaz e eficiente (António et al., 2007).

### **2.3. Ferramentas**

Para que uma organização melhore, desenvolva e promova o processo de melhoria contínua, é indispensável a utilização de ferramentas da Qualidade, sendo que, algumas dessas ferramentas são de aplicação simples, enquanto, outras têm uma aplicação um pouco mais complexa (Paladini et al., 2012).

De acordo com Beckford (2010), um dos fatores de sucesso da Gestão de Qualidade deve-se às suas ferramentas e estratégias. A aplicação prática dos modelos conceituais da Gestão da Qualidade só é possível após o desenvolvimento de técnicas que permitam alcançar resultados notáveis. Isto mostra que a Gestão da Qualidade passou da teoria à prática e origina diversos benefícios consideráveis para os processos, os produtos e para toda a organização em geral.

Por isso, as ferramentas da qualidade são definidas como mecanismos simples para selecionar, implementar ou avaliar mudanças nos processos produtivos, através de análises objetivas de diferentes partes de processos, tendo como propósito, originar melhorias na organização (Paladini et al., 2012). Também podem ser definidas como um instrumento ou técnica para apoiar e melhorar as atividades de gestão na tomada de decisões (ASQ, 2021b).

Segundo Paladini et al. (2012) estas ferramentas apresentam as seguintes características:

- 1) Facilidade de uso;
- 2) Operacionalização lógica;
- 3) Acompanhamento em tempo real das ações;
- 4) Clareza visual;
- 5) Redução do número de etapas de implementação;
- 6) Limitadas;
- 7) Implementação no atendimento do cliente;
- 8) Foco na solução e não apenas na identificação do problema.

Existem inúmeras ferramentas de qualidade que podem ser aplicadas para melhorar tanto os processos, como os produtos e serviços, porém, neste trabalho, serão abordadas especificadamente as sete principais ferramentas, que foram reunidas por Ishikawa, e que são: o Fluxograma, o Diagrama de Pareto, o Diagrama de Ishikawa, o Histograma, a Folha de Verificação, a Carta de Controle e por último o Diagrama de Dispersão.

### **2.3.1. Fluxograma**

Um fluxograma, pode ser definido como uma imagem das diferentes etapas de um processo, em ordem sequencial (Tague, 2005). É uma representação gráfica que permite uma fácil visualização de um procedimento, exibindo uma sequência lógica, de modo, a obter uma visão do fluxo do processo (Goetsch et al., 2013).

De acordo com António et al. (2007), o fluxograma é uma técnica utilizada para registrar uma série de ocorrências e atividades, fases e decisões, que podem ser facilmente compreendidas e comunicadas a todas as pessoas. É igualmente útil na visualização de processos e ajuda a salientar onde é necessário introduzir melhorias, permitindo, não só que os processos sejam postos em causa, como também, a identificação de duplicidade e pontos sem saída. O próprio ato de criar um fluxograma, permite melhorar o conhecimento do processo em estudo. Em vários casos, este fluxo destaca movimentos desnecessários de pessoas e material, e originam novas sugestões de eliminação dos mesmos (Oakland, 2003).

Um fluxograma é utilizado para fornecer uma imagem de um diagrama, através de símbolos previamente estabelecidos e mostra cada fase ou fases de um processo, projetos ou sequências de eventos (Dale et al., 2016). Os símbolos arredondados representam o início e o fim do fluxograma, os retangulares indicam a ação a ser tomada, os losangos indicam os pontos de tomada de decisão e as setas revelam direção do processo (Duffy, 2013). Se não for desenhada desta forma, o processo não será totalmente compreendido (Oakland, 2003).

Na Figura 2, encontra-se ilustrado um exemplo de um fluxograma.

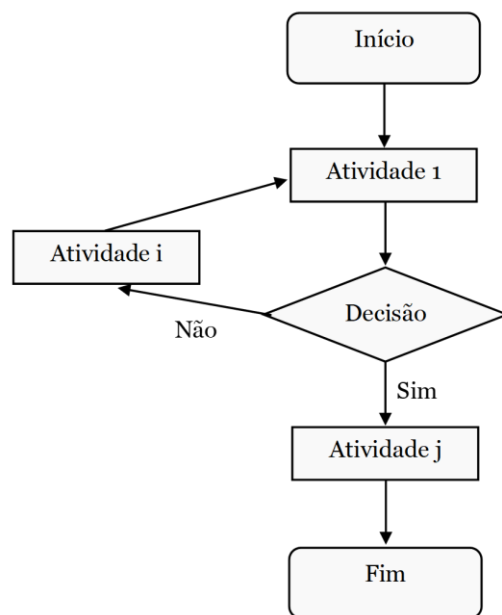


Figura 2-Fluxograma (Pereira et al., 2008)

Os seus elementos podem incluir: sequências de ações, serviços ou materiais necessários ou desnecessários para um processo (saída e entrada de material), decisões a serem tomadas, pessoas envolvidas e o tempo de cada uma das etapas leva a ser concretizada. O processo descrito por esta ferramenta pode ser qualquer um, desde um processo de fabrico, a um processo administrativo ou até a um plano de um projeto (Junior et al., 2010).

### 2.3.2. Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto, possui este nome devido ao economista italiano chamado Vilfredo Pareto, que analisou e observou que 80% da riqueza italiana era detida por 20% das pessoas. Mais tarde, na década de 1950, Juran, usou esta mesma analogia para observar que uma grande parte dos problemas de qualidade são atribuídos a um pequeno número de causas, ou seja 80% dos defeitos são devido a 20% das causas. Isto significa que minimizar 20% das causas, pode eliminar 80% dos problemas (“regra 80/20”). Esta distribuição foi expressa num gráfico, que hoje em dia, é uma das mais conhecidas ferramentas de qualidade (Duffy, 2013).

Este método é uma representação da frequência com que certos acontecimentos ocorrem, tendencialmente, são gráficos de barras, que priorizam os dados por ordem

decrecente da esquerda para a direita, identificando as oportunidades de melhoria (Duffy, 2013).

De acordo com Maximiano (1995), o Diagrama de Pareto (Princípio de Pareto, Análise de Pareto ou Gráfico de Pareto) é uma técnica que possibilita a seleção de prioridades, quando se enfrenta um grande número de problemas. Este princípio estabelece que os elementos significativos de um determinado grupo normalmente exibem uma pequena proporção do total de elementos desse mesmo grupo.

Conclui-se que esta ferramenta é uma das mais eficiente para expor problemas, estimar a grandeza dos possíveis benefícios da sua correção e pode ser usado, por exemplo, para classificar diferentes níveis de importância de causas e os principais defeitos e problemas nas operações de um processo produtivo (Mitra, 2012).

Na Tabela 4 e Figura 3 é apresentado um exemplo deste método. Como se pode observar, as barras (frequências relativas) estão organizadas por ordem decrescente ao longo o eixo dos X, exceto a última categoria que se denomina por “Outros”, e também são representadas as frequências relativas acumuladas (linhas).

Tabela 4-Distribuição de frequências para a construção do Diagrama de Pareto (António et al., 2007)

| Razões de insatisfação    | Frequências absolutas | Frequências relativas | Frequências relativas acumuladas |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Tempo de espera           | 50                    | 0.50                  | 0.50                             |
| Comida                    | 20                    | 0.20                  | 0.70                             |
| Cortesia                  | 10                    | 0.10                  | 0.80                             |
| Processos administrativos | 5                     | 0.05                  | 0.85                             |
| Regras de visitas         | 5                     | 0.05                  | 0.90                             |
| Outros                    | 10                    | 0.10                  | 1.00                             |

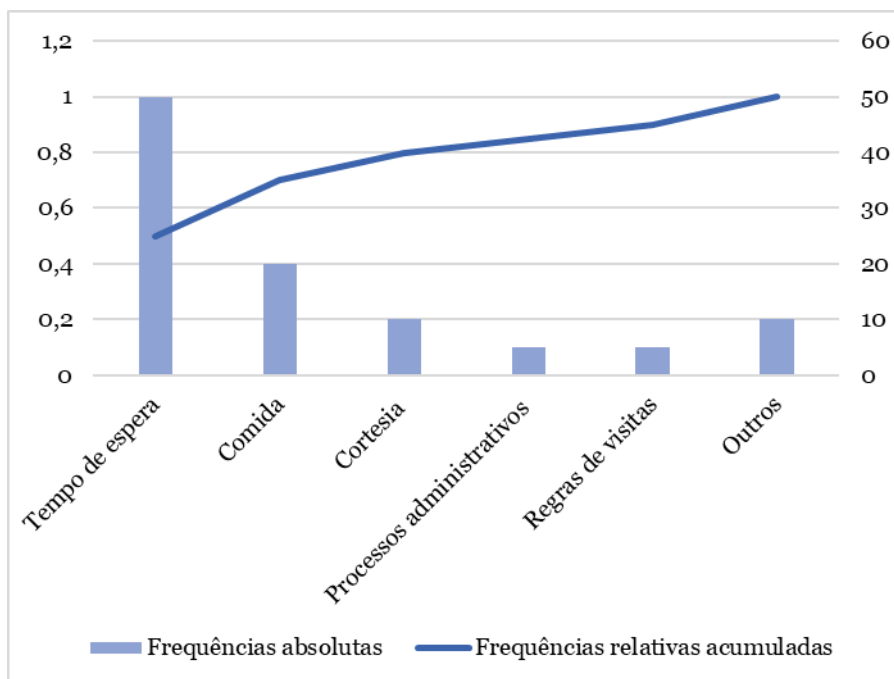


Figura 3-Diagrama de Pareto (Antônio et al., 2007)

É importante referir, que este gráfico não identifica automaticamente os defeitos mais importantes, mas sim os mais frequentes. Por isso, há que ter em atenção a interpretação dos dados, pois, um defeito menos frequente, pode acarretar diversos prejuízos económicos para a organização (Louzada et al., 2013).

### 2.3.3. Diagrama de Ishikawa

Esta ferramenta, denominada de Diagrama de Ishikawa, também é conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de causa-efeito, como uma referência ao engenheiro japonês Kaoru Ishikawa, que a criou em 1943. O objetivo deste diagrama é analisar as operações dos processos produtivos e identificar as causas que originam um determinado problema, além disso, a sua aplicação é bastante informativa e elucidativa, visto que, proporciona uma visão gráfica de todos os processos (Mitra, 2012).

Segundo Louzada et al. (2013), o diagrama é uma ferramenta gráfica utilizada para representar a relação existente entre o resultado de um processo (efeito) e todos os possíveis fatores (causa), que possam influenciar o resultado pretendido. Pode ser usado para sumarizar e apresentar as possíveis causas de um determinado problema, atuando como uma orientação para a identificação da “raiz” da causa e para a determinação de ações corretivas a serem tomadas.

A sua estrutura é simples, o eixo principal representa o fluxo de informação e as linhas que convergem, sobre esse eixo, são os contributos necessários ao processo (Paladini et al., 2012). A parte mais importante e mais difícil é a definição do problema ou da anomalia, onde deve ser dado o máximo de detalhe, para permitir identificar as causas potenciais (Dale et al., 2016). Na Figura 4, é apresentado um exemplo da aplicação desta ferramenta.

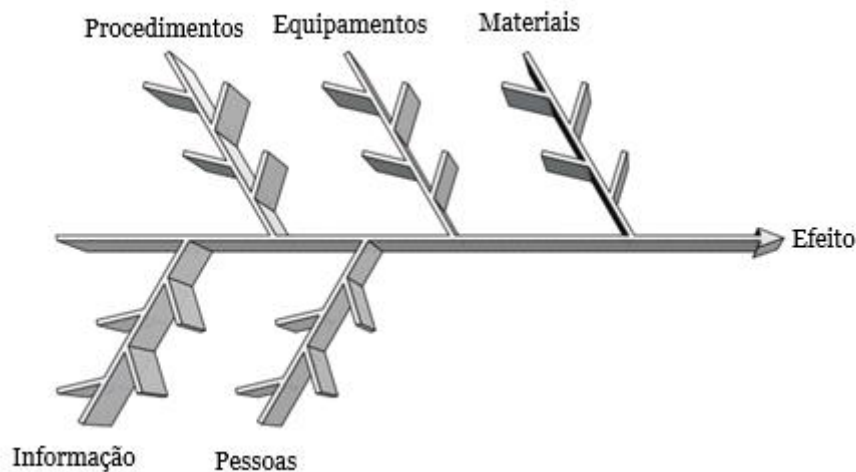


Figura 4-Diagrama de causa-efeito (Oakland, 2003)

O diagrama de causa e efeito, tipicamente, avalia cinco categorias importantes, que se denominam por 5M (método, matéria-prima, mão-de-obra, máquina e manutenção). Ocasionalmente, as equipas omitem a manutenção e usam apenas os 4M, enquanto, em outros casos, podem adicionar um sexto M (meio ambiente), formando, o conhecido diagrama de 6M. Estes três tipos de ferramentas são úteis para as pessoas com pouca experiência na construção do diagrama, pois, já têm categorias pré-definidas, ou seja, é um o ponto de partida para qualquer incerteza (Dale et al., 2016).

É vasto e diversificado o conjunto de aplicações de um diagrama de causa-efeito, visto que, esta ferramenta pode ser aplicada em qualquer situação, onde exista este tipo de relação. De modo geral, oferece apoio na tomada de decisões de situações ou procedimentos que devem ser mantidos ou eliminados. É também uma boa ferramenta para identificar os procedimentos na organização que necessitam de mais atenção, de modo a que haja uma contante melhoria dos processos (Goetsch et al., 2013). Para além disso, de acordo com a complexidade do diagrama, algumas das causas podem ser divididas em novos diagramas, para permitir uma análise mais profunda e detalhada das causas e dos seus efeitos respetivos (Westcott et al., 2015).

### 2.3.4. Histograma

Um histograma é o gráfico que demonstra as distribuições de frequência. É muito parecido com um gráfico de barras, mas existem pequenas diferenças (Tague, 2005).

A representação de dados através deste método, permite facilitar a visualização e a compreensão da informação, além disso, também possibilita a identificação da população representada e o universo através do qual os dados são obtidos. A imagem formada por um histograma proporciona uma compreensão rápida de como se comporta um determinado conjunto de elementos, o que não é possível observar nas tabelas tradicionais ou em listas de números. De forma geral, a sua função é descrever a variação dos processos, ou seja, verificar a distribuição dos dados de toda a população (Paladini et al., 2012).

De acordo com Duffy (2013), esta ferramenta é utilizada para examinar os padrões existentes, identificar a gama de variáveis e sugerirem a tendência das variáveis. Também à que referir que histogramas são utilizados para variáveis numéricas contínuas ou discretas e as suas frequências têm de ser calculadas em relação aos intervalos de valores possíveis (António et al., 2007).

Existem diversas formas de construir histogramas, dependendo do tipo de dados, sejam eles valores únicos ou agrupados, havendo ou não uma grande quantidade. Na Tabela 5 são apresentadas as variáveis contínuas, já devidamente tratadas e agrupadas, que deram origem ao histograma apresentado na Figura 5.

Tabela 5-Lista de dados (Paladini et al., 2012)

| Período de funcionamento do motor | Defeitos observados na operação do motor |
|-----------------------------------|--|
| 0-59 minutos                      | 4  |
| 1 hora- 1h 59 min                 | 12                                       |
| 2 hora- 2h 59 min                 | 2  |
| 3 hora- 3h 59 min                 | 0  |
| 4 hora- 4h 59 min                 | 8  |
| 5 hora- 5h 59 min                 | 12                                       |

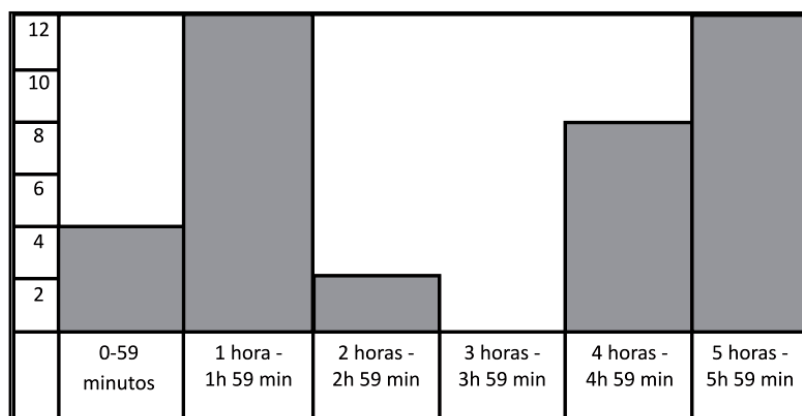


Figura 5- Histograma (Paladini et al., 2012)

### 2.3.5. Folhas de verificação

A folha de verificação é uma ferramenta bastante simples e apresenta os dados obtidos de uma forma organizada. Normalmente, apresentando-se em forma de quadro ou tabela. São considerados como formulários, ou seja, contêm requisitos pré-definidos ou não, utilizados para registrar a informação recolhida, através da observação de um determinado fenómeno ou processo (Siebels, 2004).

O objetivo desta folha é resumir toda a informação, sendo que, em alguns casos, pode ser representada graficamente, através de uma contagem total de ocorrências de um determinado evento ou fenómeno. Aliás, pode ser usada para sintetizar a informação contada de certos tipos de defeitos, fornecendo um resumo da localização de um tipo de deformação num determinado processo ou objeto (Borrer, 2008). Além disso, também podem ser resumidas em formato de histograma, para retratar visualmente a informação recolhida (Duffy, 2013).

Conforme Ishikawa (1976), a folha de verificação têm diversas finalidades, mas a principal é facilitar a compilação de informação, para que seja mais fácil a sua análise e utilização.

Segundo a ASQ (2021c), uma organização deve utilizar as folhas de verificação quando:

- Os dados podem ser observados e recolhidos pela mesma pessoa ou no mesmo local;
- Há uma recolha de dados através de padrões, problemas, defeito ou questões semelhantes;
- Há recolha de informação de um processo produtivo.

Ao projetar uma folha de verificação, é importante especificar, claramente, o tipo de dados a recolher, as peças ou a operação em estudo, a data, o analisador e qualquer outra informação útil. Aliás, caso seja a base para a realização de cálculos adicionais, é importante ter a certeza que a folha de verificação é adequada ao propósito (Montgomery, 2009).

A Figura 6 ilustra, de forma simples, a aplicação desta ferramenta, através do levantamento da frequência de erros ocorridos nos processos A, B, C, D, E e F.

|   |      |      |      |      |  |  |  |
|---|------|------|------|------|--|--|--|
| A | ///  |      |      |      |  |  |  |
| B | //// | ///  |      |      |  |  |  |
| C | //// | //// | //// | ///  |  |  |  |
| D | //// | //// | //// | //// |  |  |  |
| E | //// | //// |      |      |  |  |  |
| F | //// |      |      |      |  |  |  |

Figura 6-Folha de verificação (Montgomery, 2009)

De acordo com (Goetsch et al., 2013), existem diversos tipos de folhas de verificação, tais como:

- Verificação da distribuição da produção – é utilizada para recolher dados do processo produtivo, com o objetivo de verificar variações e especificações dos produtos;
- Verificação do tipo de defeitos- é utilizada para saber o tipo de defeitos e a frequência com que ocorrem;
- Verificação de identificação de causas de defeitos – é utilizada para relacionar as causas aos efeitos, o que torna mais fácil e clara a investigação dos defeitos;
- Verificação de localização de defeitos- é utilizada para localizar defeitos externos;
- E, por último, a verificação de confirmação.

### 2.3.6. Cartas de controlo

Um gráfico ou carta de controlo é uma ferramenta de cálculo estatístico, que serve para acompanhar o desempenho e a variabilidade de um processo. É considerada a ferramenta de qualidade mais útil e sofisticada, mas também a mais complexa (Tague, 2005).

Esta ferramenta tem sempre uma linha central (média), um limite superior de controlo (LSC) e um limite inferior de controlo (LIC) (Ver Figura 7). A partir da comparação da informação recolhida, tiram-se várias conclusões sobre a variação do processo, tais como, no caso de se encontrar dentro dos limites de especificação, significa que o processo está controlado, caso esteja fora dos limites, o processo encontra-se fora do controlo, o que indica que há alguma ocorrência indesejada (Junior et al., 2010). Quanto às variações de causas comuns, expressam um processo consistente e estável, ou seja, isto significa que se encontram dentro dos limites, já as variações devido a causas especiais, ao contrário dos anteriores, encontram-se fora dos limites (ACCEPT, 2009).

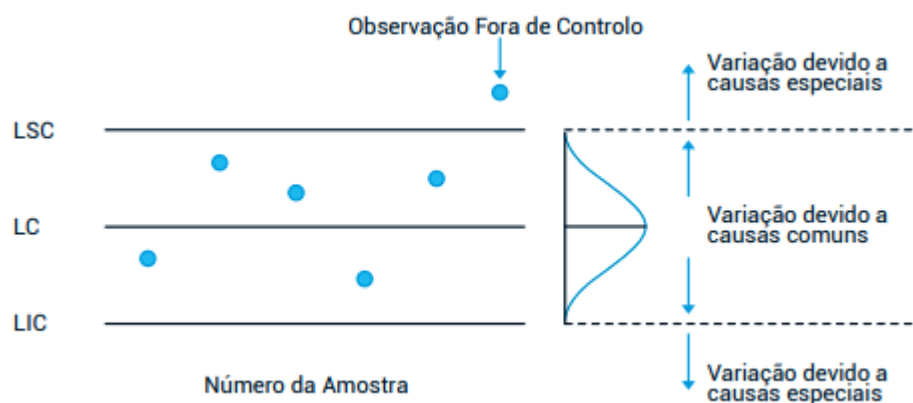


Figura 7- Explicação das Cartas de Controle (ACCEPT, 2009)

De acordo com Duffy (2013), um ponto fora dos limites de controlo representa a evidência de que o processo pode estar fora de controlo e deve-se proceder a uma investigação e posterior ação corretiva, para que haja a eliminação das causas responsáveis desse comportamento. Para além disso, mesmo que todos os pontos estejam dentro dos limites de controlo, se ao longo de vários intervalos de tempo consecutivos, eles se comportarem de forma repetitiva ou não aleatória, então, isto é um indicador de que o processo não está controlado. Resumindo, as situações críticas ocorrem quando, os dados ultrapassam limites de controlo ou quando exibem algum padrão comportamental.

Segundo Junior et al. (2010) os limites de controlo observados não significam necessariamente que o produto ou serviço atenda as expectativas do cliente, mas sim que o processo é consistente, mesmo que, o produto ou serviço final não seja o expectável. Por isso, a interpretação desta ferramenta exige, por parte da pessoa responsável pela sua análise, experiência e conhecimento sobre o processo, tal como, conhecimento sobre os princípios estatísticos (ACCEPT, 2009).

### 2.3.7. Diagrama de Dispersão

O Diagrama de Dispersão é utilizado para traçar a distribuição da informação em duas dimensões (Duffy, 2013), ou seja, é uma técnica que analisa a relação entre dois elementos (Paladini et al., 2012) e fornece, de forma visual, um panorama geral da relação (António et al., 2007).

Segundo Siebels (2004), o gráfico mostra as possíveis relações, entre dois conjuntos de dados, em que o eixo do Y representa a variável dependente e o eixo do X a variável independente. Se as variáveis estiverem correlacionadas, os pontos assinalados, ficam próximos e formam uma reta. Quanto melhor for a correlação entre as duas variáveis, mais próximos se encontram os pontos dessa mesma reta (Tague, 2005).

Na Figura 8 é apresentado exemplo deste tipo de diagrama, com duas variáveis. Essas variáveis são consideradas positivamente correlacionadas, pois, se uma aumenta, o mesmo acontece com a outra. A linha traçada é uma linha de "regressão", que mostra a relação linear entre as variáveis. Se a linha do diagrama de dispersão tiver uma inclinação negativa, as variáveis serão correlacionadas negativamente, isto significa que, quando um aumenta, a outra diminui e vice-versa. Além disso, quando não existe nenhuma linha de regressão e o diagrama de dispersão apresenta, apenas, pontos difusos, as variáveis são consideradas não correlacionadas (Westcott et al., 2015).

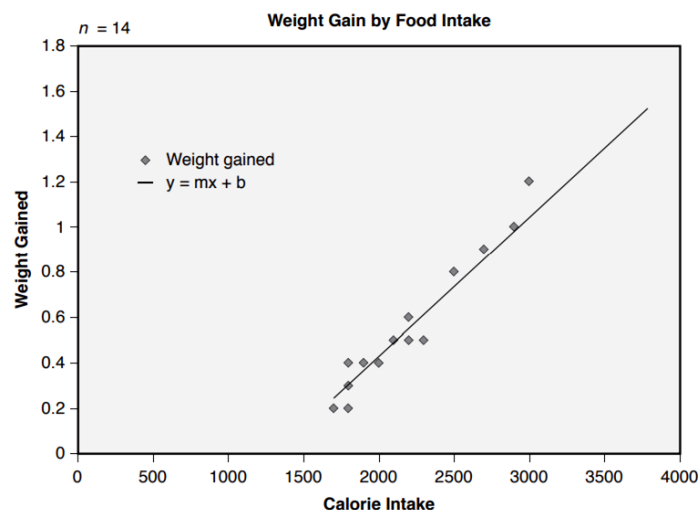


Figura 8-Diagrama de dispersão com inclinação positiva (Westcott et al., 2015)

O objetivo do diagrama de dispersão é mostrar o que acontece a uma variável quando a outra é alterada, e é utilizado para testar a teoria se as duas variáveis estão relacionadas

ou não (Bauer , 2006). De acordo com Pyzdek et al. (2013), a premissa é que a variável independente causa uma mudança na variável dependente.

A utilidade desta ferramenta para a qualidade, reside na medição de variáveis de um processo produtivo, para observar se elas são ou não correlacionais. A finalidade específica é aferir as relações causais entre variáveis, com o objetivo de encontrar as causas básicas dos problemas (Westcott et al., 2015).

É crucial lembrar que os diagramas de dispersão mostram, apenas, que existe uma relação entre duas variáveis, mas não relaciona o que uma variável causa a outra (Duffy, 2013), ou seja, é uma ferramenta valiosa para o diagnóstico e solução de problemas (Dale et al., 2016).

## **2.4. Importância da Qualidade**

Tendo em conta a história da qualidade e alguns dos seus conceitos, observam-se diversos benefícios da aplicação da mesma, nomeadamente ao nível da melhoria de produtos e serviços, da satisfação de clientes, da diminuição do desperdício e do aumento do lucro (Duffy, 2013).

As organizações podem utilizar medidas de qualidade para instituir objetivos estratégicos que conduzam à melhoria do desempenho organizacional, à análise das tendências e ao incentivo do desempenho dos seus colaboradores (Nelson-Rowe et al., 2016). Por isso, a qualidade é considerada uma melhoria contínua proativa, que permite identificar e criar oportunidades (Nelson-Rowe et al., 2016). Aliás, é um grande benefício para as empresas, porque representa o uso de recursos com a máxima eficiência. Processos que criam produtos e serviços de elevada qualidade resultam em custos mais baixos com reparações e ações de garantia, e ainda, podem levar à fidelização dos clientes, ou seja, possibilita, o ganho de uma reputação aprimorada e novos clientes (Bauer et al., 2006).

Uma elevada qualidade, é provavelmente uma das ferramentas de *marketing* mais poderosas, e pode ser reconhecida por diversas fontes, desde fornecedores, a clientes e até a concorrentes. Uma organização que se concentre na melhoria, ao avaliar o que ocorre na empresa e ao evitar o fabrico de produtos e serviços com falta de qualidade, cria um estilo pró-ativo de gestão. Isto faz com que a empresa aumente a probabilidade de sobrevivência e pode proporcionar um aumento da sua quota de mercado (Duffy, 2013).

Devido às constantes mutações da economia mundial, as empresas têm a necessidade de adotar novos sistemas de gestão e novas ideias para aperfeiçoar os seus processos, adequando-os às realidades atuais. Os clientes exigentes e a concorrência feroz, são dois dos fatores mais relevantes que influenciam a tomada de decisão e a velocidade com que as empresas necessitam de atualizar os seus sistemas, pois os clientes procuram, cada vez mais, produtos e serviços de elevada qualidade e a concorrência, por outro lado, tenta progressivamente atender e superar as expectativas do consumidor (Oliveira, 2006). Por estes motivos, a constante melhoria da qualidade deve ser o objetivo principal de todas as organizações e de todos os seus respetivos funcionários, ou seja, isto é a filosofia que as organizações devem seguir, com o objetivo de adquirir mais vantagens competitivas (Mitra, 2012).

Esta filosofia não é responsabilidade de apenas uma pessoa na organização. Todos os envolvidos direta ou indiretamente na produção de um produto ou serviço, são responsáveis. Infelizmente, muitas das organizações, entendem que isto não se aplica à sua realidade, o que cria um sistema ineficaz, onde a qualidade existe apenas no papel (Mitra, 2012). De acordo com Bauer et al. (2006), a qualidade afeta todas as partes interessadas na empresa, como os funcionários, a própria organização, fornecedores, clientes e a comunidade. As partes interessadas nas organizações são críticas e demonstram que a qualidade não se aplica apenas aos produtos ou serviços fornecidos. Por exemplo, se dois concorrentes se concentram na melhoria contínua, provavelmente irão produzir um produto de qualidade comparável. Mas se um dos concorrentes olhar além da qualidade do produto final e também se concentrar na melhoria contínua das pessoas, do processo e do ambiente de trabalho, este, vencerá a longo prazo ou até mesmo a curto prazo a concorrência, visto que, os seus produtos são produzidos de forma mais consistente pela organização (Goetsch et al., 2013).

Segundo Mitra (2012), a melhoria da qualidade pode levar à conquista de novos mercados, a uma melhor posição competitiva e ao aumento do lucro, conforme se explana de seguida:

1. Aumento da quota de mercado: a redução de custos, devido a falhas, e à melhoria do desempenho organizacional, fazem com que as empresas aumentem a satisfação dos clientes, o que origina a compra do produto/serviço novamente. Para além disso, ao atender à satisfação do cliente, surge o *marketing* “boca-a-boca”, ou seja, o cliente irá divulgar os produtos ou serviços, o que leva a organização a conquistar novos

consumidores. Isto significa que a participação no mercado aumenta, à medida que o nível de qualidade aumenta.

2. Aumento da posição competitiva: todas as organizações desejam permanecer competitivas e melhorar, cada vez mais, a sua posição no mercado, através do aperfeiçoamento ou da melhoria da produtividade, o que muitas vezes não chega, visto que, os seus concorrentes fazem exatamente o mesmo. Por isso, as organizações devem monitorizar a sua posição no mercado e a percepção que os clientes têm da sua organização. É através deste controlo, da melhoria de processos e da eficiência dos recursos, que uma empresa minimiza os seus custos. Portanto, mesmo que o preço de venda permaneça fixo, os custos iram sofrer uma melhoria ou, em alternativa, conforme a melhoria da qualidade, a empresa pode optar por estabelecer um preço mais elevado. Em ambos os casos, uma melhor posição competitiva abre caminho para o aumento do lucro.

De acordo com Sampaio et al. (2016), a qualidade é uma questão muito importante no presente e tornar-se-á ainda mais relevante no futuro. Existem diversos motivos que podem ser mencionados, tais como:

- Os clientes serem cada vez mais exigentes;
- Os clientes estarem cada vez mais bem informados sobre os produtos, bem como, sobre o seu processo produtivo;
- O facto de a vida depender cada vez mais do bom funcionamento de produtos e de serviços de elevada qualidade;
- E, por último, devido à constante globalização.

Para lidar com este tipo de ambiente, é necessário fazer um uso adequado dos princípios de qualidade, das metodologias e das suas ferramentas, mas também é necessário reinventar abordagens e adaptá-las ao mundo e às organizações atuais e futuras (Sampaio et al., 2016).

Além disso, as empresas que desejam ser bem-sucedidas devem alinhar as suas estratégias da qualidade com as diversas operações, através da transformação e da melhoria dos seus sistemas de gestão da qualidade. As empresas que se comprometem com a qualidade não se podem, apenas, focar nos programas da qualidade para a redução de defeitos, mas devem contruir projetos em toda a cadeia produtiva (Sampaio et al., 2016).

É neste âmbito, que a utilização da certificação se torna relevante, originando uma estratégia de qualidade. A certificação da qualidade, para além de aumentar a satisfação e confiança dos clientes, ajuda a melhorar os custos internos, a aumentar a produtividade, a melhorar a imagem da empresa e facilita o acesso a novos mercados. Também permite avaliar a conformidade de produtos e serviços, garantindo ao cliente a máxima excelência (Carpinetti, 2010). Muitas empresas utilizam a certificação como publicidade para os seus produtos/serviços, ou seja, como um instrumento de *marketing*, o que cria confiança, chama à atenção do cliente, e ainda, cria uma vantagem competitiva (António et al., 2007).

Conclui-se, então, que a qualidade não é um fator negociável, pois existe uma grande dependência dela para a sobrevivência de todas as organizações (Dale et al., 2016).

## **2.5. Custos da Qualidade**

Os custos de qualidade, podem ser definidos como uma metodologia que permite a uma organização determinar os recursos utilizados para evitar a má qualidade de um produto ou serviço (ASQ, 2021c). Estes custos não são, apenas, custos de garantia de qualidade, inspeção, monitorização, teste, etc. Eles também estão relacionados com uma variedade de atividades e envolvem diversos departamentos das organizações, todos os quais afetam a qualidade do produto ou serviço (Dale et al., 1991).

Segundo Siebels (2004), estes custos são medidas de despesas associadas à realização ou não realização da qualidade de um produto ou serviço, incluindo todos os requisitos estabelecidos pela empresa e pelos contratos com os clientes, mais especificamente, os custos de qualidade são o total de custos ocorridos por:

- Investimento na prevenção de não conformidades;
- Avaliação de produtos ou serviços, para que haja, conformidade com os requisitos;
- Falha de cumprimento dos requisitos estabelecidos.

A obtenção desta informação tem de ser realizada pelo departamento da qualidade em conjunto com o de contabilidade. E, para que isso aconteça, estes departamentos devem começar por examinar, analisar e construir um processo de recolha de custos, que seja robusto e de simples uso, para que haja uma maior facilidade na sua recolha, tanto da qualidade como da falta desta (António et al., 2007). Ao considerar estes custos, há que ter em consideração a controvérsia sobre quais as atividades e custos relacionados com a

qualidade, pois muitos deles, são custos de produção, devido à incapacidade de fabricar o produto bem à primeira (Dale et al., 1991).

A abordagem económica dos gastos com a qualidade é cada vez mais relevante para as organizações que procuram vantagens competitivas, visto que, permite garantir a permanência no mercado, onde a concorrência se torna cada vez mais feroz (Lopes et al., 2007). Mas, infelizmente, as organizações atuais, ainda não põem isto em prática, o que faz com que diversos custos significativos sejam esquecidos ou simplesmente não sejam reconhecidos, porque, a maioria dos sistemas de contabilidade, não são projetados para os identificar, o que origina um desequilíbrio de custos (Wood, 2013).

Neste sentido, segundo Paladini et al. (2012), a análise dos custos de qualidade é um mecanismo benéfico e poderoso que pode fornecer diversas informações, tais como:

- As áreas problemáticas e as áreas com prioridades de ação;
- Possibilita a avaliação de alternativas de investimento de capital;
- Justifica e direciona o investimento em atividades de prevenção e melhoria da qualidade;
- Mede o desempenho, para que o investimento seja favoravelmente direcionado, reduzindo os custos diretos e indiretos;
- Avalia a melhoria do retorno de investimento e do aumento das vendas.

Resumindo, o valor dos dados obtidos, através dos custos não devem ser subestimados, pois, são mais eficazes na forma como elucidam a situação organizacional, sendo benéficos na identificação de áreas onde existe desperdício e tendências de melhoria de desempenho (Dale et al., 2016).

Para gerir os custos, estes devem ser divididos em duas principais categorias: custos da qualidade, que podem ser entendidos como encargos indispensáveis à garantia de um produto melhor e em custos de não qualidade, que são compreendidos como as oportunidades e rendimentos perdidos devido à produção de produtos que não satisfazem os desejos do cliente (António et al., 2007). Os custos de qualidade dividem-se em custos de prevenção e de avaliação, enquanto os custos de não qualidade repartem-se por custo de falha externa ou falha interna. Estes custos serão explicados mais pormenorizadamente de seguida (Figura 9).

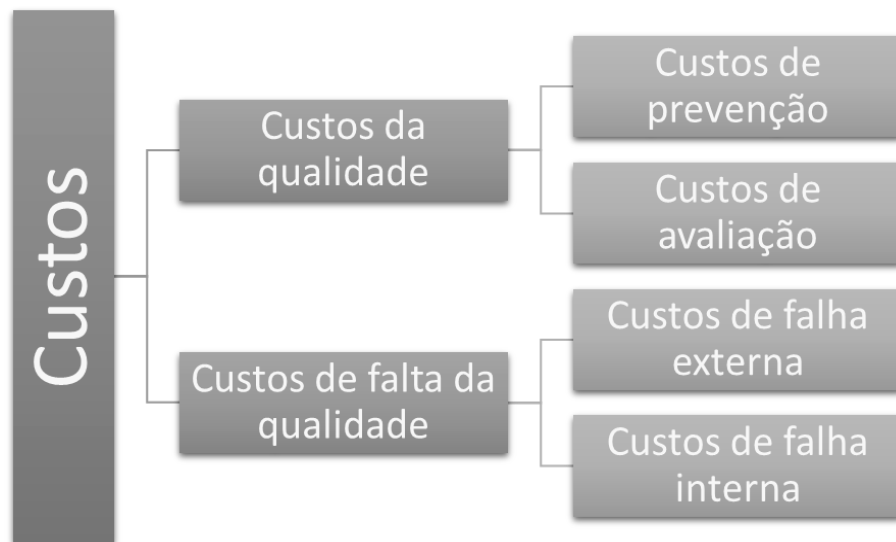


Figura 9-Classificação dos custos da qualidade (Adaptado da ASQ, 2021d)

Os custos de prevenção, são os custos de todas as atividades realizadas para evitar defeitos de design e desenvolvimento, compras, mão-de-obra, entre outros. Neste tipo de despesas também são incluídas as ações de prevenção, realizadas durante o processo produtivo (Crosby, 1978). Ou seja, são resultantes dos gastos associados ao planejamento da qualidade, com a finalidade de prevenir a má de qualidade (Paladini et al., 2012).

Os custos de avaliação estão relacionados com a medição, avaliação ou auditoria de produtos, serviços, componentes ou materiais adquiridos, a fim de determinar o grau de conformidade com os requisitos. Outro dos custos associados a esta categoria é a calibração e a manutenção de instrumentos e equipamentos de medição (Mitra, 2012).

E, por último, os custos de falha que resultam da não conformidade de produtos ou serviços, que em geral, são divididos em dois tipos, interno e externo (Borrór, 2008). Os custos de falha interna ocorrem quando os produtos, componentes, materiais e serviços falham em corresponder aos requisitos da qualidade, antes da entrega ao cliente (Mitra, 2012). Já os custos de falha externa sucedem após a entrega ou envio do produto, e durante ou após o fornecimento de um serviço (Siebels, 2004). Na Tabela 7, é apresentado um breve resumo dos custos descritos acima.

Tabela 6-Custos de Qualidade (Adaptado de Wood, 2013)

|   |   |
|---|---|
| <p style="text-align: center;"><b>Custos de prevenção</b></p> <p>Previnem a má qualidade de produtos ou serviços.</p>                                       | <p style="text-align: center;"><b>Custos de falhas</b></p> <p>Custos resultantes de produtos ou serviços não conformes com os requisitos ou com as necessidades do cliente. Podem ser divididos em custos de falha interna e externa.</p> <p style="text-align: center;"><b>Custos de falha interna</b></p> <p>Custos de falha ocorridos antes da entrega ou envio do fornecimento de um serviço ao cliente.</p> <p style="text-align: center;"><b>Custos de falha externa</b></p> <p>Custos de falha que ocorrem após a entrega ou envio do produto ou após o fornecimento de um serviço ao cliente.</p> |
| <p style="text-align: center;"><b>Custos de avaliação</b></p> <p>Pretendem garantir a conformidade dos padrões de qualidade e de requisitos do cliente.</p> |   |
| <p style="text-align: center;"><b>Total de custos da qualidade</b></p> <p>Soma dos custos acima descritos.</p>  |   |

A maioria das causas de devoluções de produto e da insatisfação do consumidor são devido às falhas dos fornecedores, inconsistências nos processos, erros de projetos, operacionais, de inspeção, de aplicação e falhas de manutenção de produtos (Feigenbaum, 1991). Uma empresa prudente, garante que os seus produtos e serviços são entregues ao cliente, através de um sistema não tolerante a falhas, desperdícios ou qualquer tipo de não conformidades, pois esses problemas são caros de resolver (Crosby, 1978).

De acordo com Paladini et al. (2012), a falta de qualidade implica perdas, mas grandes investimentos não significam necessariamente elevada qualidade, nem garantem competitividade no mercado. A boa qualidade custa dinheiro, mas a má qualidade também, sendo que, na maioria dos casos os custos da má qualidade excedem os custos da boa qualidade (Bauer et al., 2006).

## Capítulo 3. Indústria 4.0

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica no domínio da Indústria 4.0, na qual se caracterizam e comparam as quatro Revoluções Industriais. E ainda, é abordado conceito de Indústria 4.0 e as suas principais particularidades, além disso, são expostos e explicados os principais pilares/ferramentas deste conceito, tal como, os benefícios e desafios.

### 3.1. Revoluções Industriais

A palavra “revolução” está inevitavelmente associada a transformação e radicalismo. Ao longo dos anos, as revoluções, têm ocorrido quando novas tecnologias e formas de compreender o mundo desencadeiam alterações nas estruturas sociais e económicas (Schwab, 2016), ou seja, no decorrer do tempo, houve uma procura de soluções inovadoras, com o objetivo de descobrir vantagens competitivas nos mercados (Patnaik, 2020). Segundo Lanteri (2019), uma revolução industrial é uma transformação profunda e irreversível na estrutura da economia mundial. Por isso, as Revoluções Industriais, são marcos significativos, que alteraram a história da Humanidade. Estes marcos não são concretos, o que significa que não existem datas específicas, pois, as modificações foram formadas ao longo de vários anos e encontram-se divididas em quatro (Ustundag et al., 2018).

A Primeira Revolução Industrial começou na indústria têxtil britânica, em meados do século XVIII, e foi desencadeada pela mecanização da fição e da tecelagem, isto é, ocorreu uma substituição progressiva dos métodos artesanais por máquinas e ferramentas inovadoras. Nos 100 anos subsequentes, esta revolução transformou todas as indústrias existentes e deu origem a muitas outras. Nessa época surgiram as máquinas-ferramentas, o fabrico de aço, a locomotiva a vapor e os caminhos-de-ferro. As novas tecnologias criaram sistemas inteiramente novos de produção, troca e distribuição de valor, tanto na indústria, como no setor da agricultura (Schwab, 2019). Além disto, a revolução, também é considerada uma mudança da dependência de animais, do esforço humano e da biomassa como fonte primária de energia (Davis, 2016).

A Segunda Revolução Industrial, iniciada no final do século XIX, ingressou predominantemente no século XX, com o advento da eletricidade (Schwab, 2016), que possibilitou o prolongamento do horário de trabalho e contribuiu para o aumento da produtividade (Radziwill, 2020). Nesta altura, a linha de montagem e a produção em massa, também, foram introduzidas pela primeira vez, o que tornou a produção mais

fácil e rápida (Patnaik, 2020). Neste contexto, é mencionada uma citação de Henry Ford, sobre o carro Ford T-Model, “O seu carro pode ser de qualquer cor, desde que seja preto”. Esta citação demonstra bem o tipo produção vigorante desta época e a falta de personalização dos produtos (Rojko, 2017). Este período ficou marcado, da mesma forma, pelas invenções do telégrafo, telefone, rádio, televisão, automóveis, e ainda, dos aviões (Acemaglu, 2002), e também levou a mudanças na esfera social, visto que, a sociedade foi orientada para os valores materiais e de consumismo (Popkova et al., 2019).

A Terceira Revolução Industrial teve início na década de 1940 e é chamada de revolução digital ou do computador, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, do computador e da *internet* (Schwab, 2016). Por outras palavras, ocorreu um desenvolvimento ao nível digital e da comunicação, que possibilitou novas formas de partilhar, processar e originar informação (Davis, 2016). Ligou pessoas e as indústrias numa escala sem precedentes (Skilton et al., 2018). De acordo com Popkova et al. (2019), incluiu também transformações profundas e complexas de sistemas, estruturas, relações e tecnologias, que alteraram os mecanismos de produção, troca, consumo e comunicação organizacional.

No final da Terceira Revolução Industrial, as condições já estavam criadas para que a revolução seguinte surgisse (Lanteri, 2019). No início do século XXI, começou a Quarta Revolução Industrial, também conhecida por Indústria 4.0, que é caracterizada pela convergência do mundo físico e tecnológico (Hyun Park et al., 2017). Agora, a Humanidade encontra-se, no auge desta revolução, que envolve recursos inteiramente novos para as pessoas e máquinas (Radziwill, 2020). Embora estas capacidades dependam das tecnologias e da infraestrutura da Terceira Revolução Industrial, a Quarta Revolução representa maneiras inteiramente novas da tecnologia se incorporar nas sociedades (Davis, 2016), de uma certa forma, a Terceira Revolução, lançou as bases para a quarta (Patnaik, 2020).

A revolução atual representa uma mudança fundamental no modo como o ser humano vive, trabalha e se relaciona. Envolve mais do que apenas mudanças impulsionadas pela tecnologia, dado que é uma oportunidade de ajudar todos, incluindo líderes, legisladores e pessoas de todos os grupos e nações, a fim de, criar um ambiente centrado no homem (World Economic Forum, 2020).

As primeiras três revoluções resultaram na mecanização, eletricidade e na tecnologia da informação, respetivamente, agora é a vez da *Internet of Things* (IoT) e dos Serviços

(IoS), que representa a Quarta Revolução (Kagermann et al., 2013). Na Tabela 9 e Figura 10, é exposto um breve resumo das revoluções, bem como o tipo de marcos de cada uma delas.

Tabela 7-Revoluções Industriais (Adaptado de Popkova et al., 2019)

|   | Revoluções Industriais   |  |  |                                   |
|---|--|--|--|-----------------------------------|
|   | Primeira   | Segunda  | Terceira   | Quarta                            |
| Duração                                       | Século XVIII e princípio do XIX.                               | Final do século XIX e princípio do século XX.  | Segunda parte do século XX.  | Início do Século XXI.             |
| Modificações industriais                      | Produção de ferro fundido, máquina a vapor e indústria têxtil. | Produção de aço de alta qualidade, distribuição de ferrovias, eletricidade, e produtos químicos. | Tecnologias digitais, rede organizacional de negócios e processos. | <i>Internet of Things.</i>        |
| Inovação nas infraestruturas das organizações | Produção industrial.   | Transportes.   | Produção com base nas tecnologias digitais.                        | Produção totalmente automatizada. |
| Tipo de transformação                         | Produção industrial.   | Produção em massa.   | Produção com base digital.   | Produção customizada.             |

Assim sendo, as revoluções industriais anteriores libertaram a humanidade do poder animal, possibilitaram a produção em massa e trouxeram recursos digitais para milhares de milhões de pessoas. A Quarta Revolução é caracterizada por uma gama de novas tecnologias que fundem os mundos físico, digital e biológico trazendo um impacto a toda a estrutura social, económica, industrial, e até mesmo ao ser humano (Schwab, 2020).

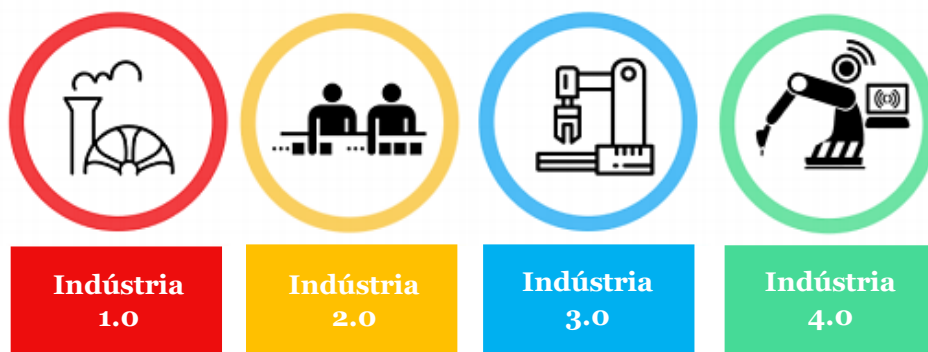


Figura 10-As Quatro Revoluções Industriais (Adaptado de Morisson et al., 2019)

### 3.2. Noção e Essência da Indústria 4.0

A Indústria 4.0, é um conceito que reflete o novo paradigma que representa a última revolução industrial (Lu, 2017). Após ser apresentado a um grande público pela primeira vez durante a Feira de Hannover em 2011, o conceito Indústria 4.0 migrou, rapidamente, do discurso especializado, para um termo amplamente conhecido no léxico popular. Conseguiu colocar a produção industrial, um tema “morto” por muitos anos, de volta aos holofotes (Pfeiffer, 2017).

Atualmente, quase todas as empresas relacionadas com as tecnologias tentam encontrar uma explicação própria para o que é realmente o conceito Indústria 4.0. Isso faz com que seja cada vez mais difícil lidar com a complexidade do tema (Bartodziej, 2017). Segundo Ustundag et al. (2018), não existe uma definição certa para esclarecer o conceito, tal como não há uma utilização exata das tecnologias atuais.

A abordagem principal deste tema é constituída pela ligação entre tecnologias presentes no ambiente industrial, proporcionando um processo de recolha e análise de dados, para obter melhores decisões com base no conhecimento adquirido (Righi et al., 2020). A I4.0 refere-se à nova “onda” de tecnologias industriais, com o objetivo de criar um fluxo produtivo integrado, autónomo e otimizado (Ian et al., 2017). Segundo Reiner (2014), o principal propósito da última revolução, é a utilização de novas tecnologias para obter inteligência e comunicação mais fácil e rápida. Portanto, pode ser definida como uma abordagem estratégica de integração de sistemas de controlo.

Sendo assim, o conceito Indústria 4.0 inclui uma grande variedade de tecnologias com diferentes características e aplicações (Reinhard et al., 2016). Segundo Popkova et al. (2019), o principal motivador para a Indústria 4.0 é a convergência do *Cyber Physical*

*System* (CPS) no processo produtivo (Figura 11), que é caracterizado pela capacidade de transformar economias, empregos e até a própria sociedade (Deloitte, 2017).

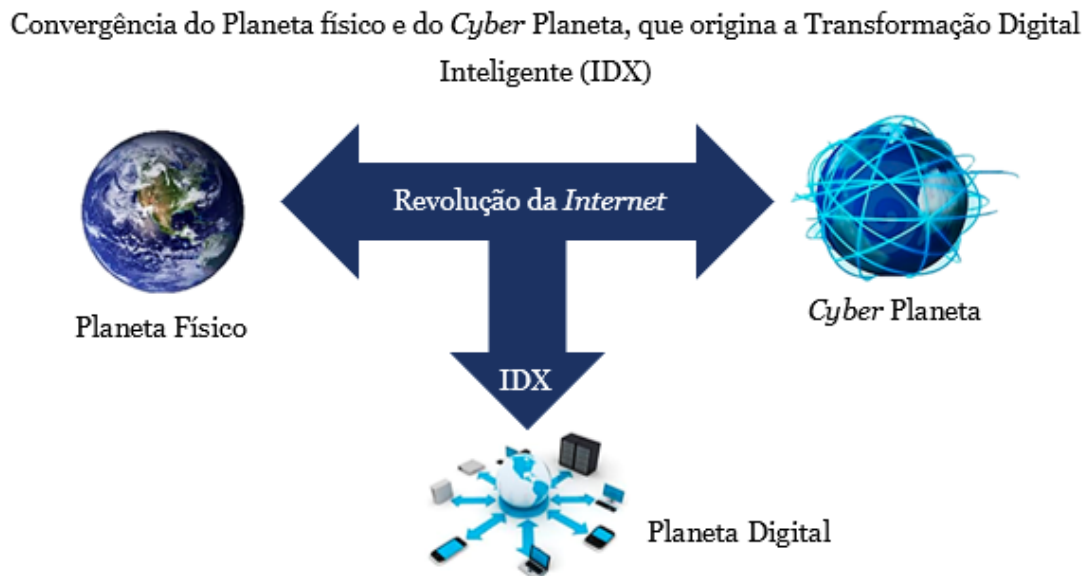


Figura 11-Essência da Quarta Revolução Industrial (Hyun Park et al., 2017)

De acordo Tulip Interfaces (2020), talvez por causa da complexidade da época, a Indústria 4.0, foi definida de várias formas. Embora a ênfase em cada definição possa ser diferente, há um amplo consenso de que, a Indústria 4.0 é caracterizada por:

1. Um conjunto de tecnologias digitais à escala global em contextos industriais;
2. Uma relação entre humanos, máquinas e o trabalho;
3. Uma dispersão e ritmo suficientes para ganhar o título de revolução.

Neste contexto, é possível afirmar que a Indústria 4.0, não é apenas constituída pela digitalização, mas sim por um sistema abrangente de mudanças associadas a diferentes atividades (Kaczmarczyk et al., 2018). Dentro da abordagem de produção, significa modernização da indústria, a partir da automatização numa escala alargada dos processos produtivos, ou seja, a ênfase é colocada na componente de funcionamento organizacional (Popkova et al., 2019). De acordo com a *Plattform Industrie 4.0* (2021), refere-se à rede inteligente das máquinas e processos para a indústria auxiliada pelas tecnologias de informação e comunicação. Segundo Schwab (2016), é o produto da introdução das tecnologias no ambiente produtivo.

Entre estas tecnologias encontram-se os *Big Data*, os Robôs Autónomos, a *Advanced Analytics*, o *Cloud Computing*, a *Internet of Things*, a Realidade Aumentada, a *Additive Manufacturing*, as Simulações, entre outras (Pinheiro, 2016). A combinação das tecnologias mencionadas, como sugerido pelos alemães, tem o potencial de originar as chamadas *Smart Factories* (Figura 12), capazes de fabricar produtos de forma mais eficiente, através da comunicação e interação entre as máquinas, pessoas e recursos (Kagermann et al., 2013), tendo como propósito, alterar a forma como a produção é realizada (Gilchrist, 2016). Por outras palavras, é um conceito amplo que visa otimizar as atividades de produção, aplicação da informação e das tecnologias (Kumar et al., 2019).

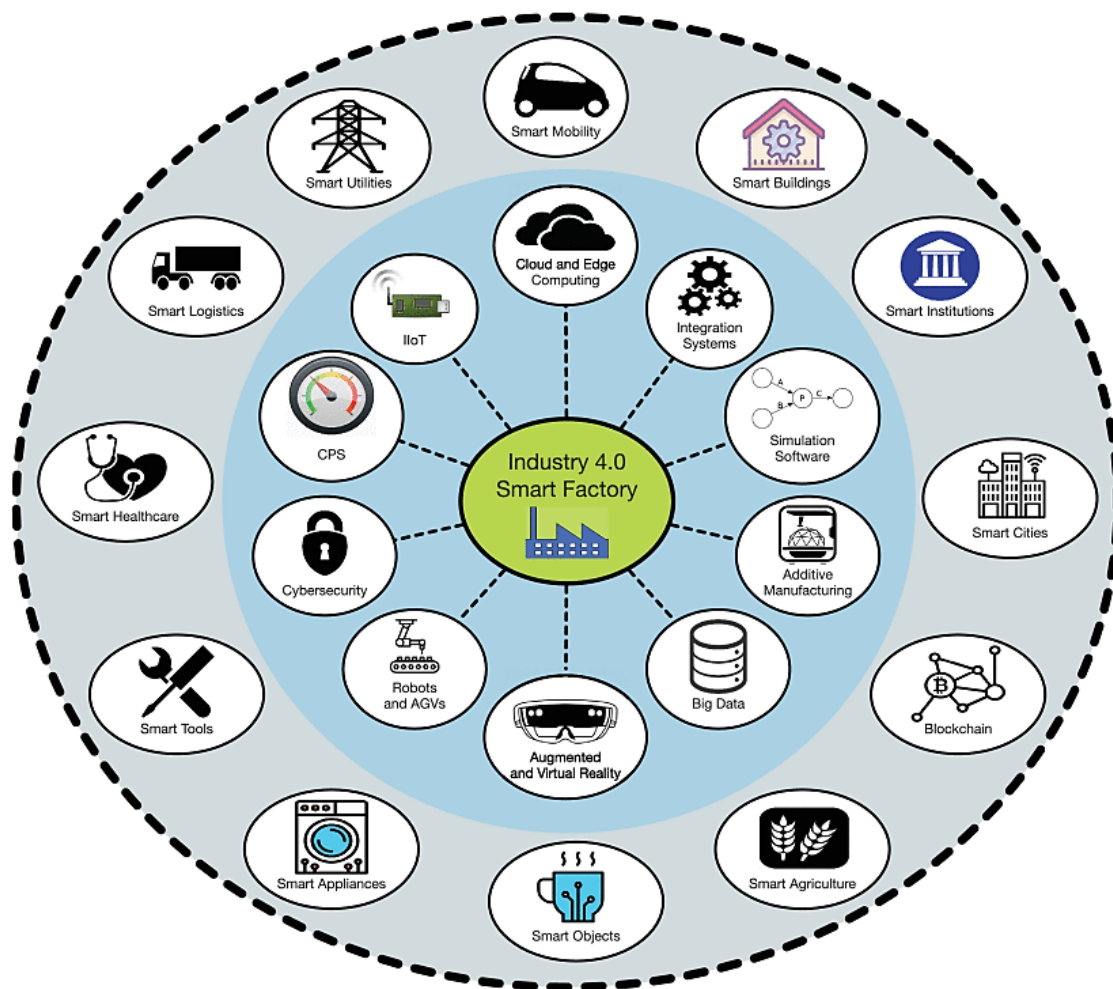


Figura 12-Tecnologias e diversas áreas relacionadas com a *Smart Factory* (Fernandez-Carames et al., 2018)

Posto isto, a Indústria 4.0 possui um grande potencial e as denominadas *Smart Factories*, permitem:

- Atender às expectativas do cliente, através da produção de peças em série ou ainda de produtos personalizados;
- Alterações de última hora na produção, proporcionando uma rápida resposta a mudanças;
- Alcançar a transparência no processo produtivo, facilitando assim as decisões;
- Desenvolver novos modelos de negócio (Kagermann et al., 2013).

Isto sugere que as *Smart Factories*, permitem maior flexibilidade em toda a produção, e que há uma automatização de processos e da transmissão de informações sobre o produto em tempo real. Aliás, o uso de tecnologias significa a possibilidade de uma maior variedade de produtos e personalização. Esta personalização proporciona a produção de pequenos lotes, pois existe a capacidade de configuração rápida das máquinas (Davies, 2015).

A verdadeira capacidade deste tipo de fábrica está na aptidão da evolução e mudança, seja na alteração dos pedidos do cliente, expansão para novos mercados, desenvolvimento de novos produtos ou serviços, incorporação de novos processos ou tecnologias e mudanças em tempo real, isto é, permitir que as organizações se adaptem às alterações de formas que antigamente eram impossíveis (Burke et al., 2017). Além disso, não estão apenas associadas a grandes organizações, na verdade, são ideais para pequenas e médias empresas devido à agilidade que proporcionam (Gilchrist, 2016).

Portanto, segundo Bauman (2001), vivemos numa época de mudanças severas. O início do século XXI, que um dia, foi imaginado com suavidade e um tempo de harmonia de realizações tecnológicas, configura-se num ambiente de profundas incertezas e transformações sociais e económicas.

### **3.3. Principais Tecnologias**

A Quarta Revolução Industrial, refere-se à união de sistemas físicos e avançados de tecnologias digitais que comunicam, analisam e agem de acordo com as informações, possibilitando às organizações, consumidores e sociedade mais flexibilidade (Deloitte, 2020). A compreensão desta revolução não pode ser separada do conceito das tecnologias. Portanto, também pode ser definida como a utilização de diferentes ferramentas digitais (Righi et al., 2020), ou seja, é a habilidade de adotar e integrar as

tecnologias, tanto ao nível físico, como ao nível digital, de forma a melhorar as operações, tornando-as mais produtivas e inovadoras (Deloitte Insights, 2018), sendo, o objetivo resolver problemas nas organizações de forma dinâmica, através da comunicação direta e em tempo real (Kumar et al., 2019).

De acordo com Kagermann et al. (2013), a I4.0 visa usar os avanços tecnológicos emergentes para melhorar o desempenho do setor industrial, de modo a que, as organizações permaneçam competitivas. Este princípio é a base para o desenvolvimento de processos de produção inteligentes composto por máquinas e sensores, que têm a capacidade de comunicar entre si, em tempo real, e para além disso, comunicar com outros elementos da cadeia de valor, para uma adaptação rápida a diferentes situações (Chen, 2017).

Nos últimos anos, foram desenvolvidas várias tecnologias (Wehberg, 2021), e por este motivo, no mundo atual, é difícil encontrar uma ambiente organizacional que não tenha sido tocado pela digitalização (Patnaik, 2020). Alguns desses desenvolvimentos estão agora a amadurecer. Outros permanecem no futuro, mas a taxa de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 está a acelerar rapidamente (PWC, 2016).

Neste cenário promissor, em diversos aspetos, existem várias tecnologias, tais como: a *Cloud*, os *Big Data*, a Realidade Virtual (*Virtual Reality*), a Realidade Aumentada (*Augmented Reality*), a *Internet of Things*, entre outras. O auxílio destas tecnologias, proporciona uma constante melhoria da qualidade de serviços, produtos e processos, bem como, de toda a organização em geral (Radziwill, 2020). Aliás, contribui para o aumento dos níveis de produtividade e mudanças na forma como as pessoas e as organizações colaboram (Deloitte, 2017). Isto representa alterações profundas em todas as empresas que implementem estas tecnologias (Deloitte Insights, 2018).

Segundo a CGI (2017), as novas tecnologias nunca foram tão abrangentes e acessíveis. Agora tornam-se onipresentes e isto força as empresas a um ritmo de mudança sem precedentes, o que altera a maneira de trabalhar e pensar do ser humano (Deloitte, 2017).

De acordo com a Boston Consulting Group (BCG), as ferramentas/pilares mais relevantes da I4.0 são nove e estão representados na Figura 13. Na seção seguinte são descritos em pormenor estes pilares.



Figura 13-Principais tecnologias associadas à Indústria 4.0 (BCG, 2020)

### **3.3.1. Big Data and Analytics**

Hoje em dia, o setor industrial, está submerso com a quantidade de dados de diversas fontes, há uma grande necessidade de reunir todas essas informações, de forma organizada e coerente, para posterior análise e recolha de informação no sentido de apoiar as melhores decisões para as empresas. As organizações não se podem dar ao luxo de desperdiçar esses recursos, pois são úteis ao nível da otimização da qualidade da produção e de serviços e na melhoria da eficiência dos processos produtivos (Gilchrist, 2016).

De acordo com Alcantara (2017), a tradução literal de *Big Data* é “grandes dados” e, um dos enormes desafios, é interpretar esses dados corretamente. Tudo o que é feito *online* deixa um “traço digital” ou “dados”, na qual existe a possibilidade de serem utilizados e analisados. Posto isto, os *Big Data and Analytics*, trata de examinar grandes quantidades de informações estruturadas e não estruturadas, para pesquisar padrões de *marketing* ocultos, descobrir correlações anteriormente desconhecidas, encontrar novas tendências de mercado, relevar preferências do cliente e outras informações comerciais. A partir destas informações podem ser descobertas novas formas da organização ter mais lucro, melhorar a experiência do cliente, aumentar a eficiência operacional e, finalmente, ganhar vantagens sobre a concorrência (Reynolds, 2016). A capacidade de gerir os *Big*

*Data* fornece às organizações vantagens competitivas, que podem beneficiar as suas operações de produção, *marketing*, satisfação do cliente, entre outras (Erboz, 2017).

É através de sistemas informáticos já existentes, como os computadores de elevada capacidade e as redes de comunicação, que há a possibilidade de armazenar com rapidez estas grandes quantidades de informação, que depois de tratada e analisada em tempo real, facilita a tomada de decisões com base nessa informação (Pinheiro, 2016).

O conceito deste pilar e as considerações de como lidar com a grande quantidade de informação são um desafio intrínseco da I4.0, uma vez que os métodos estatísticos tradicionais, se tornam inúteis devido à complexidade dos elementos (Oloff et al., 2017). No cenário atual, os *Big Data* são a base para a transformação digital de todas as organizações, tanto pequenas como grandes, pois têm um papel importantíssimo no desenvolvimento da última revolução (Patnaik, 2020).

Deve-se destacar que quando há referência aos *Big Data*, o importante não é somente a quantidade de informação recolhida, pois, é possível que uma organização tenha um grande conjunto de dados e que não faça nenhuma análise revelante sobre os mesmos (Marquesone, 2017). A essência está no valor obtido a partir dos cinco V's, ou seja, as cinco dimensões, que são explicados de seguida.

- Volume: quantidade de dados gerados;
- Variedade: tipos de informação estruturada e não estruturada, originária de diversas fontes;
- Velocidade: tempo de análise e processamento da informação;
- Veracidade: autenticidade dos dados recolhidos;
- Valor: importância da informação recolhida para a organização (Patnaik, 2020).

As informações resultantes, podem ser utilizadas para tomar decisões cruciais, assim, esta ferramenta alimenta a realização da implementação da Indústria 4.0 (Patnaik, 2020).

### **3.3.2. Robôs autónomos**

Os robôs são usados na indústria, a fim de, resolver tarefas complexas, que não podem ser executadas pelo ser humano, assim como para o desempenho de tarefas simples repetitivas. As melhorias e as constantes inovações no setor industrial, tornaram possível o uso desta ferramenta, de forma fácil e simples. No entanto, a presença do operador é

necessária, para a realização de determinadas tarefas, tal como, fornecer instruções ao robô (Hedelind et al., 2011).

Nos últimos tempos, os robôs forneceram uma gama mais vasta de serviços, o que os torna mais flexíveis e autônomos (Leong et al., 2020). De acordo com Mineo et al. (2016) o Robô industrial é definido como um controlador automático, reprogramável e um manipulador polivalente. No espectro de robôs manipuladores, alguns robôs modernos têm atributos adequados para desenvolver sistemas autônomos e lidar com situações desafiadoras na indústria.

O uso de robôs nos processos de fabrico não é algo novo, tal como se pode observar na Figura 14. Contudo, estão cada vez mais sujeitos a constantes melhorias e evoluções. A utilização de robôs autônomos na indústria, também conhecidos como robôs colaborativos (*Cobots*), não é um conceito recente, dado que, esta tecnologia já é utilizada em várias indústrias para realizar tarefas complexas. Mas, na Indústria 4.0 ganham várias aptidões, além dos anteriores modelos, tornam-se mais autônomos (Gilchrist, 2016).



Figura 14-Robôs (World Economic Forum, 2018)

Segundo Bekey (2005), os robôs autônomos são máquinas que pensam e agem. A autonomia refere-se a sistemas capazes de operar no ambiente real sem qualquer tipo de controlo externo, por longos períodos de tempo. Podem ser definidos como máquinas inteligentes capazes de executar tarefas por si só, sem autodomínio humano explícito. Eventualmente, no futuro, todos os tipos de industria, irão introduzir esta ferramenta para interagir entre si, em segurança, e lado a lado com o ser humano, sendo que, terão uma gama maior de recursos do que os de hoje em dia (Russmann et al., 2015).

Esta tecnologia leva as empresas a permanecerem mais competitivas, pois, apresenta soluções que preenchem lacunas em diversas áreas, proporciona segurança e satisfação dos funcionários, aumenta a produtividade e o lucro. A implementação deste tipo de robôs, permite que os funcionários tenham mais tempo para o design, inovação e planeamento, que são partes igualmente críticas para crescimento e sucesso de uma organização (Leong et al., 2020).

### **3.3.3. Simulações**

As simulações, são utilizadas na indústria para usar dados em tempo real e espelhar o mundo físico num modelo virtual, incluindo máquinas, produtos e humanos. Isto permite que os operadores testem e otimizem as configurações das máquinas, para que, o produto seja visualizado no mundo virtual antes da mudança física, reduzindo assim os tempos de configuração de máquinas e aumentando a qualidade (BCG, 2020).

Portanto, a simulação pode ser definida como a imitação da operação de um processo, ou sistema da vida real ao longo do tempo, que origina uma história artificial no sistema onde, a partir da observação dessa história, se podem extrair conclusões sobre as características operacionais do sistema real (Banks, 1998).

Na perspetiva da I 4.0, este tipo de tecnologia, pode ser avaliada como uma ferramenta de suporte para acompanhar a recolha de informação a partir de várias alterações de parâmetros, o que permite a visualização de diferentes decisões, tal como as respetivas consequências (Ustundag et al., 2018). É uma ferramenta inovadora que impulsiona a criação de produtos e serviços cada vez melhores, e ao mesmo tempo, economiza recursos financeiros e tempo, assim como aumenta a produtividade e a qualidade (Abreu et al., 2017). Além disso, a simulação de produtos, materiais e processos de produção, também podem ser utilizados para melhorar a estrutura do chão de fábrica, através da criação de plantas virtuais que incluam todos os elementos da produção (Machado et al., 2020), tal como se pode observar na Figura 15. Em ambientes dinâmicos e incertos, esta ferramenta tem o potencial de otimizar decisões de controlo e apoiar decisões em tempo real (Alcácer et al., 2019).

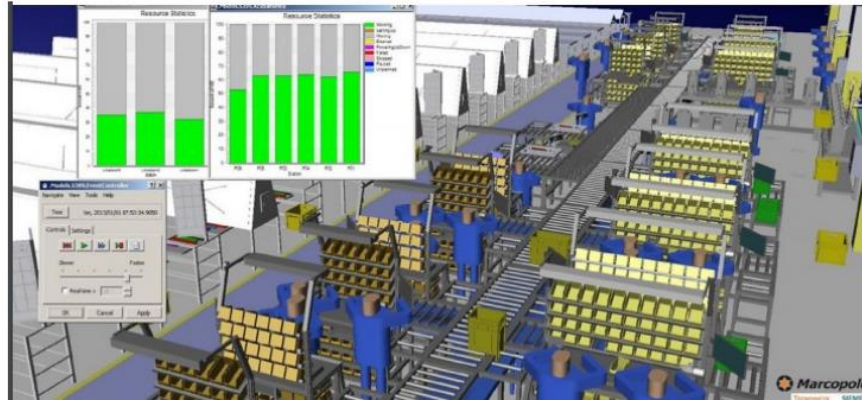


Figura 15-Simulação (Berticelli et al., 2019)

### 3.3.4. Integração do sistema horizontal e vertical

Um dos recursos essenciais da Indústria 4.0 está associado à integração horizontal e a integração vertical nas organizações (Fernandez-Carames et al., 2018).

A integração horizontal refere-se à inclusão de diferentes sistemas de informação usados na fase de planejamento dos processos e da produção, envolvendo a troca de materiais, energia e informações dentro da organização ou entre diversas organizações. O seu objetivo é integrar a informação em toda a rede, desde o fornecedor ao consumidor (Crnjac et al., 2017). Segundo Stock et al. (2016), este tipo de integração descreve-se como a interligação e a digitalização interna de módulos, para que haja uma criação de valor em toda a cadeia produtiva.

Por integração vertical, entende-se a inclusão dos vários sistemas tecnológicos nos diferentes níveis hierárquicos de um sistema de produção, ao nível de sensores, de controlo, de produção, de fabricação e execução, e ao nível de planejamento de recursos empresariais (Plattform Industrie 4.0, 2015). O uso de sensores e a integração de processos, permite a verificação da qualidade de produtos e a redução de desperdícios, que é originado pela constante troca de informações. Esta troca, faz com que problemas potenciais sejam detetados mais rapidamente, visto que, as informações sobre as operações se encontram disponíveis a qualquer hora e momento, informando o operário do estado de cada processo (Crnjac et al., 2017).

O objetivo destas duas integrações é criar um cenário, onde a engenharia, a produção, o *marketing* e o pós-venda estejam profundamente ligados. Da mesma forma, toda a cadeia de abastecimento é integrada, dando origem a redes de dados, colaboração aos níveis de automatização e das cadeias de valor (Gilchrist, 2016). Com a aplicação das ferramentas da Indústria 4.0, as empresas, departamentos, funções e diferentes recursos

estão mais interligados, pois as redes de dados entre empresas facilitam a interação de toda a cadeia (Kanagachidambaresan et al., 2020).

Neste momento, muitos sistemas de informação ainda não se encontram totalmente integrados, ou seja, a maioria das empresas não está diretamente ligada aos seus fornecedores e clientes. Mesmo dentro da própria empresa, muitas das vezes, vários departamentos estão virtualmente separados. Assim, com a introdução da Indústria 4.0, espera-se que a maioria das empresas tome medidas para obter a ligação entre departamentos, fornecedores e clientes, pois isto, permitirá que as organizações, departamentos, funções e capacidades sejam mais coesos e eficientes (Leong et al., 2020).

### **3.3.5. *The Internet of Things (IoT)***

A IoT é um conceito que significa, basicamente, ligar os aparelhos do dia a dia, como máquinas, equipamentos, eletrodomésticos, e até pequenos objetos de uso diário, à *internet*, ou seja, é a cooperação entre o mundo físico e o virtual, com a ajuda das inovações tecnológicas (Nayyar et al., 2020). De acordo com Ranger (2020), este conceito refere-se a diversos dispositivos físicos, que se encontram ligados à *internet*, e que transmitem e fornecem dados em tempo real sem interação humana, tornando as organizações mais inteligentes e ágeis. Assim, a estrutura da IoT, auxilia na comunicação de objetivos e na partilha de informações através da ligação entre objetos físicos, serviços e sistemas (Kumar et al., 2019). Também, permite economizar tempo e dinheiro na transferência de dados e melhorar a comunicação entre os dispositivos eletrónicos (Kumar et al., 2020).

Esta tecnologia é responsável pela transformação digital na indústria, mas também pela transformação de cidades e sociedades (Kumar et al., 2020). Segundo a CGI (2017), liga sistemas, dispositivos, sensores e pessoas por meio de redes, ou seja, trata-se, deste modo, da ligação entre todos os objetos de um determinado ambiente. Esta ligação é criada por dispositivos eletrónicos, através da troca de dados entre o *software* e o *hardware*, o que possibilita a interação entre os ambientes. Esta tecnologia permite que os dispositivos comuniquem e interajam entre si, conforme necessário, e ainda, descentraliza, analisa e ajuda a tomar decisões (Miorandi et al., 2012).

A IoT fornece grandes oportunidades para os utilizadores, para a produção e para todas as organizações (Miorandi et al., 2012). De acordo com Kumar et al. (2020), esta ferramenta proporciona às empresas uma visão em tempo real de como os sistemas



Segundo Nayyar et al. (2020), o termo *cyber* segurança (Figura 17), representa o ramo da tecnologia que fornece proteção aos sistemas contra roubo ou danos do *hardware*, *software*, informações/dados e contra interrupções dos serviços prestados ou até mesmo paragens de produção. A integração de máquinas inteligentes com o homem não só aumenta a eficiência, mas também ajuda na monitorização da comunicação entre humanos e máquinas, originando dados. Se essa informação chega às mãos erradas, pode ser uma catástrofe para a empresa, portanto, tornar a Indústria 4.0 segura para todos é uma mais-valia.

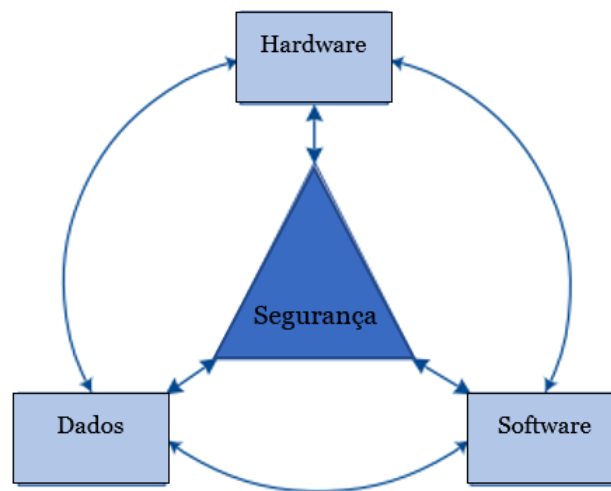


Figura 17-Cyber segurança (Butun, 2020)

Em várias organizações, a segurança dos sistemas é considerada o principal problema das tecnologias, por isso, a maioria fortaleceu, consideravelmente, a sua segurança, nos últimos anos (Ustundag et al., 2018), de modo a garantir que as suas operações diárias não sejam severamente afetadas (Leong et al., 2020).

### **3.3.7. Cloud**

Com a Indústria 4.0, as organizações necessitam de uma maior partilha de dados entre as pessoas e as empresas, e esta tecnologia, permite que as pessoas trabalhem juntas, o que significa que a *Cloud*, revolucionou a cultura empresarial (Leong et al., 2020).

A *Cloud* surgiu como um meio de conexão de dados altamente dispersos, que se encontram disponíveis virtualmente, num único sítio (Kapur et al., 2018). As informações que se encontram guardadas na *Cloud* podem ser acedidas em qualquer

lugar, a qualquer momento, sem a instalação de *softwares* complexos. O objetivo é facilitar o acesso às informações de forma descentralizada, para possibilitar decisões estratégicas (Yen et al., 2014). Aliás, esta forma de armazenamento de dados, simplifica, essencialmente, a troca de dados em tempo real, cria e promove a integração e colaboração digital, e ao mesmo tempo, melhora o desempenho organizacional. Como resultado, os dados de produção e de toda a organização, bem como diversos *softwares* são, cada vez mais, introduzidos nesta ferramenta, para que haja melhoria organizacional (Russmann et al., 2015).

Segundo Nayyar et al. (2020), este pilar da Indústria 4.0 é bastante vantajoso, dado que, tem memória dinâmica e permite a partilha de recursos, possibilitando ao utilizador obter informações de acordo com as suas necessidades, isto é, inclui *hardware*, *software*, recursos de infraestrutura, etc., que podem ser acedidos facilmente. Também permite a troca de dados em tempo real, criando um ambiente digital integrado, proporcionando uma melhor ligação entre as partes interessadas e visibilidade das informações em tempo real (Figura 18).

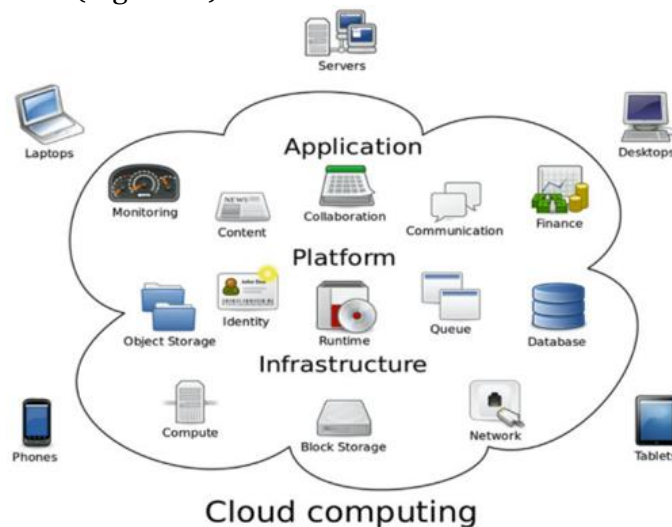


Figura 18- Integração da *Cloud* numa organização (Nayyar et al., 2020)

As empresas, através da *Cloud*, podem alcançar uma eficiência superior e proporcionar a visibilidade de toda a cadeia de abastecimento (Leong et al., 2020). Além disso, os *softwares* das empresas podem estar instalados na *Cloud*, em vez de estarem apenas em alguns computadores, o que permite atualizações e *backup's* de dados fáceis e contínuos (Ian et al., 2017).

Alguns dos principais benefícios da utilização da *Cloud* são permitirem uma maior flexibilidade, agilidade, redução de custos e utilização ótima de recursos. Estas vantagens

resultam, em última instância, no aumento da competitividade do mercado (Kumar et al., 2019).

### **3.3.8. Additive Manufacturing**

A *Additive Manufacturing* (Figura 19), também conhecida como impressão 3D, é um método normalmente associado a produtos personalizados, pequenos lotes, protótipos e componentes individuais (Erboz, 2017), tendo, como vantagem a produção rápida de designs complexos e leves (BCG, 2020), a produção de forma descentralizada, a otimização de stocks e a diminuição de tempos de entrega do produto (Fernandez-Carames et al., 2018). Embora esta tecnologia não seja tão revolucionária como inicialmente se assumiu ser, pode produzir objetos a partir da aplicação de um *software* específico, que comunica com uma impressora, para construir um determinado produto (Radziwill, 2020).

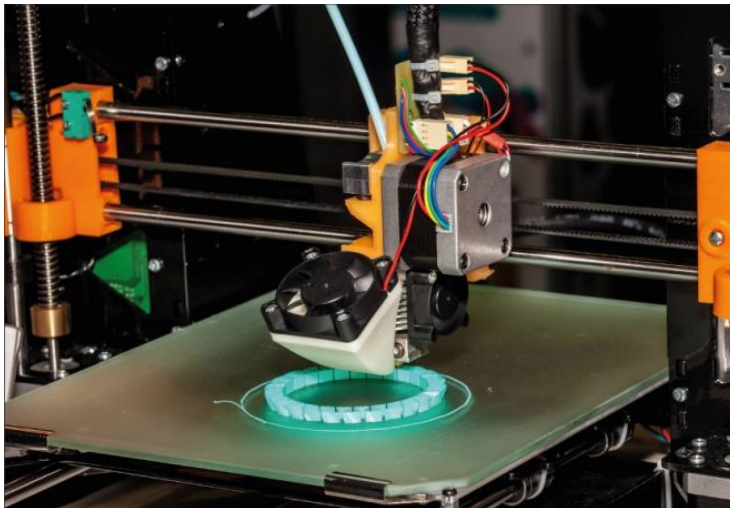


Figura 19- Impressão 3-D (Badiru et al., 2017)

De acordo com Bettioli et al. (2020), a impressão 3D, cria o objeto pela deposição de material camada por camada, com base no código definido no projeto. Esta impressão pode usar vários materiais, como plásticos, cerâmicas, metais e resinas, entre outros, eliminando o processo de montagem do produto. Este tipo de tecnologia permite que as empresas melhorem o design, criem protótipos rápidos e produzam produtos complexos.

É um dos elementos-chave da Indústria 4.0, porque ajuda a desenvolver as técnicas de fabricação não tradicionais, sendo mais rápido e barato (Akshath et al., 2020). Oferece mais valor aos clientes, e reduz, ao mesmo tempo, as ineficiências de custo e tempo de produção (Gilchrist, 2016). Aliás, a criação de produtos pode ser ajustada e calibrada de

várias maneiras e as vezes que forem necessárias, sem prejudicar a eficiência do processo produtivo (Ian et al., 2017).

### **3.3.9. Realidade Aumentada**

A Realidade Aumentada pode ser definida como a tecnologia interativa que possibilita a simetria entre o mundo virtual e o mundo físico, ou seja, é uma ação conjunta entre um sistema que envia informação em tempo real e um dispositivo que se encontra ligado à *internet*. Posto isto, um sistema deste tipo, reproduz uma visão composta para o utilizador, ou seja, é a combinação de um cenário real com um virtual, produzido através do computador, para que haja uma melhor perceção do utilizador (Erboz, 2017).

Segundo Bettiol et al. (2020), é um conjunto de tecnologias e dispositivos usados para simular um ambiente, que contém objetos reais e virtuais, com a intenção de melhorar processos de produção, design, protótipos e o desenvolvimento de produtos. Isto possibilita a redução dos custos de configuração e o tempo de processamento, dado que, recebe informações em tempo real, e fornece auxílio virtual.

Através deste tipo de tecnologia é possível detetar diversos problemas e saber exatamente onde estes se encontram. Além disso, o operador pode ter acesso, passo a passo, a todo o processo de fabricação do produto. Portanto, estas são apenas algumas aplicações da ferramenta, dado que, o seu principal objetivo é criar um sistema no qual o utilizador não percebe a diferença entre o mundo real e o virtual, e a finalidade, é a simplificação de processos, diminuição de erros e necessidade de prática/formação, entre outros (Paelke, 2014).

De acordo com Alcácer et al. (2019), para que o utilizador visualize todas as informações necessárias, os dispositivos baseados nesta tecnologia utilizam diferentes óticas, tais como:

- Vídeo;
- Holograma;
- Projecção.

A Realidade Aumentada (RA) ajuda os processos a tornarem-se mais inteligentes e a integrar toda a cadeia de valor das indústrias. Oferecem suporte a uma variedade de serviços, como a seleção de peças num depósito (Figura 20) e o envio de instruções de reparação por meio de dispositivos móveis. Atualmente a RA ainda se não encontra presente em diversas indústrias, mas, no futuro, as empresas farão um uso muito mais amplo desta ferramenta (Kolberg et al, 2015).



Figura 20-Realidade Aumentada (Paelke, 2014)

### 3.4. Princípios da Indústria 4.0

Segundo Hermann et al. (2015), existem seis princípios básicos da Indústria 4.0 (Figura 21), que são: a descentralização, a virtualização, a interação, a flexibilidade, a capacidade em tempo real e a orientação para os serviços. Estes princípios são designados por princípios do design, visto que, contribuem para a transição da Indústria 3.0 para a 4.0. Posto isto, tal como as tecnologias, permitem que os profissionais prevejam o progresso da adaptação da Indústria 4.0 (Ustundag et al., 2018).



Figura 21-Principais princípios da Indústria 4.0 (Adaptado de Righi et al., 2020)

### **3.4.1. Descentralização do trabalho**

O primeiro princípio é a descentralização, que é entendida como uma maior capacidade dos operadores responderem às mudanças e se reajustarem rapidamente, fornecendo mais flexibilidade operacional (Carvalho et al., 2019).

Para lidar com as condições específicas da nova era industrial, é necessário tomar decisões o mais rapidamente possível (Lasi et al., 2014). Essa tomada de decisão, bem como o controlo são efetuados, através dos sistemas tecnológicos, que, comunicam entre si, a partir de uma rede comum, a IoT (Kaczmarczyk et al., 2018). Estas escolhas descentralizadas e autónomas, são fundamentais, tanto para as tecnologias, como para o fator humano, visto que, há uma maior liberdade para identificar diversos aspetos, tais como: a análise de parâmetro e decisões, visando, o bem comum e a plenitude para o ramo de atividade industrial (Carvalho et al., 2019).

A descentralização é um dos principais segredos para a obtenção de uma melhor produtividade. Normalmente as tecnologias que apoiam este princípio são: a IoT, a CPS, os sensores inteligentes, a inteligência artificial, entre outras, capazes de comunicar, partilhar e controlar informação de todo o processo produtivo. Assim, passa a existir uma maior sensibilidade sobre todas as alterações dentro da organização, o que permite maior agilidade, maior adaptabilidade e até mesmo soluções potenciais (Bartodziej, 2017).

### **3.4.2. Virtualização**

A virtualização tem como princípio criar um ambiente virtual, através do mundo físico pré-existente, por meio de monitorização constante e interação entre as máquinas a partir de sensores, ou seja, é a capacidade de um sistema monitorizar processos físicos de forma virtual. Este princípio fornece um dos componentes mais essenciais da I4.0 em CPS (Righi et al., 2020), permite a monitoração de todo o sistema produtivo, novas adaptações e mudanças utilizando as ferramentas de simulação ou realidade aumentada (Ustundag et al., 2018)

A forma visual pode enriquecer as organizações, devido à possibilidade de controlar as condições dos equipamentos em tempo real e, ainda, permite identificar gargalos nos sistemas produtivos (Dikhanbayeva et al., 2020). De acordo com Akshath (2020), é uma cópia virtual da *Smart Factory*, que é criada com a ajuda de dados recolhidos através de sensores. É utilizada pelos colaboradores como auxílio no trabalho e no tempo de identificação e resolução de problemas, auxilia na análise e na tomada de decisões dos

funcionários, bem como, as equipas de trabalho, isto significa que, partilha e sintetiza a informação de forma virtual, rápida e em tempo real (Carvalho et al., 2019).

### **3.4.3. Interação**

A interação ou interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de comunicação clara e transparente com diferentes sistemas semelhante ou não (Palma et al., 2017), ou seja, está associada à ligação de várias máquinas, sistemas, sensores, dispositivos e pessoas e dados para que estes possam interagir e trocar informações, que posteriormente serão analisados e transformados em informações que podem auxiliar a definir vários processos de produção, bem como outras decisões importantes. Esta interligação e cooperação oferece uma integração tanto vertical como horizontal, de modo a facilitar o acesso à informação (Nayyar et al., 2020).

De acordo com Butun (2020), refere-se à capacidade de ligação dos sistemas computacionais e à troca de informações, entre si, sem qualquer restrição. Segundo Qin et al. (2016), é a troca de informação entre máquinas e equipamentos que desempenham a mesma função, mesmo que sejam de fabricantes diferentes. Por outras palavras, dá origem a várias redes, num ambiente seguro, entre equipamentos que intercomunicam, e utiliza a *Internet* e o CPS para criar uma *Smart Factory* (Ustundag et al, 2018). Isto ajuda as empresas a reduzir os custos na recolha e análise de informações e ainda a duplicação de dados (King, 2020).

A interação não pode acontecer sem a existência de uma ligação, portanto, como primeira etapa, as empresas devem digitalizar as operações utilizando a *Cloud* para armazenar os programas de *software* e armazenamento de dados. O processo de produção não segue simplesmente um conjunto pré-determinado de métodos ou etapas, envolve também as pessoas, máquinas e processos que estão diretamente relacionados, por isso, requer um ambiente com interação e colaboração flexível entre todos os componentes (Gilchrist, 2016).

### **3.4.4. Flexibilidade**

A flexibilidade, também é outro princípio de design da Indústria 4.0, e o seu objetivo é que as *Smart Factories* se adaptam facilmente às mudanças de circunstâncias e requisitos (Gilchrist, 2016). De acordo com Palma et al. (2017), significa agilidade na adaptação às alterações, isto é, há uma facilidade de modificação em caso de mutação das características do produto. Resumindo, aproveita os recursos em tempo real da I4.0, o que facilita uma resposta rápida às mudanças do sistema (expansão ou contração dos

processos de produção), falhas, tendências de mercado ou pedidos do cliente. Assim, a produção pode sempre ajustar-se às necessidades ambientais, sistêmicas e variáveis do cliente, sem erros, perda na produção ou insatisfação (Habib et al., 2019).

O princípio, tem como objetivo, permitir, em tempo real, a resposta às mudanças dos requisitos do consumidor e ajuda na superação do mau funcionamento interno do sistema de produção. Tem tudo a ver com a alteração de sistemas rígidos e modelos inflexíveis, onde as mutações das exigências dos clientes, parceiros, condições de mercado e todos os outros elementos possíveis, podem causar a necessidade de modificação e agilidade do sistema (Mabkhot et al., 2018).

Segundo Ferreira et al. (2020), pode ser aplicada nos diferentes estágios do ciclo de vida produtivo, como por exemplo, design, fabricação, montagem, além disso, permite a customização em massa e uma produção mais ágil e flexível. Traz uma grande vantagem para a produção, onde qualquer módulo pode ser substituído por outro devido à sua flexibilidade estrutural (Righi et al., 2020).

### **3.4.5. Capacidade em tempo real**

O princípio da capacidade em tempo real é um dos aspetos de relevância da I4.0, pois é responsável por garantir que a indústria tenha o melhor tempo de resposta possível aos estímulos internos e externos, de modo a compartilhar, receber e analisar dados e informações em tempo real (Carvalho et al., 2019). De acordo com Hermann et al. (2015), a capacidade significa recolher, transferir, analisar, monitorizar e compartilhar informação na hora.

Conforme Ferreira et al. (2020), algumas das ferramentas tecnológicas podem ser destacadas para a obtenção deste princípio, tais como: a *IoT*, a *CPS*, a *Cloud*, o *Big Data* e as simulações. Isto permite que haja acesso imediato a tudo o que acontece na organização e fora dela, dando a perceção do que pode ser melhorado e onde existem oportunidades de melhoria ao nível da produtividade. Além disso, também possibilita a análise de tendências no mercado, proporciona uma resposta imediata a falhas nas linhas de produção e adota uma abordagem proativa para as ineficiências e anomalias, sem necessidade de esperar por relatórios, visto que, oferece uma análise que pode ser visualizada em qualquer lugar e a qualquer momento (King, 2020).

Por outras palavras, a rede industrial é influenciada por todas as secções da organização e pode transmitir no momento todas as respostas necessárias para melhor atendimento

dos requisitos do cliente e de todas as partes interessadas (Qin et al., 2016). Todas as respostas devem ser em tempo real, tanto em processos de mudanças e monitorizações, como no controlo. As alterações devem ser detetadas a tempo e o sistema deve ter a capacidade de recuperar rapidamente (Mabkhot et al., 2018). Isto indica que as operações em tempo real são uma pré-condição para a comunicação, tomada de decisão e controlo das empresas (Kaczmarczyk et al., 2018), ou seja, este princípio é crucial para a excelência organizacional (Bartodziej, 2017).

### **3.4.6. Orientação para serviços**

A orientação para os serviços, é caracterizada pela disponibilidade, através da *internet*, do ser humano e da CPS, para facilitar a comunicação com o cliente e todas as partes interessadas na organização, de modo a proporcionar produtos com serviços especializados e personalizados. Desta forma, a I4.0, tem como objetivo preservar e divulgar a rede de parcerias das organizações com todos os *stakeholders*. Assim, todas as partes interessadas na organização podem ter acesso a serviços, produtos e informações úteis sobre o setor, por meio de plataformas digitais e virtuais disponíveis a qualquer instante (Carvalho et al., 2019).

Segundo Ustundag et al. (2018), a orientação para serviços é a satisfação da adaptação dos requisitos do cliente a todo o sistema, utilizando uma perspectiva de integração de subsistemas internos e externos. Este processo é o elo entre os sistemas físicos e o *software* das plataformas, permitindo a comunicação e a coordenação de dados. Por outro lado Chaim et al. (2018), caracteriza a orientação para serviços como sendo a transformação que permite que as organizações sejam ágeis e flexíveis a responder às mudanças do mercado.

Através do fluxo livre de informação, graças aos sistemas interligados, há uma maior facilidade para as empresas atenderem, de forma excelente, às necessidades e expectativas dos clientes. Como resultado, existe uma mudança da essência em todos os setores, onde o foco principal é o cliente, em vez dos produtos. Para se diferenciarem da concorrência, as organizações apostam em modelos orientados para os serviços, usando dados para fornecer serviços exclusivos aos clientes. Ou seja, há um fluxo de informação gratuito dentro e entre as empresas para melhorar o atendimento às necessidades dos consumidores. Aliás, com este princípio, podem ser identificadas atividades repetitivas e não essenciais, que podem ser reduzidas ou mesmo eliminadas, por meio da tecnologia, para que a organização se possa concentrar nos processos ou atividades críticas da sua atividade (King, 2020).

### 3.5. Benefícios e Desafios da Indústria 4.0

A expansão veloz e universal das tecnologias nas organizações e na sociedade, resultaram na origem da Indústria 4.0. A I4.0 afeta todas as atividades, setores e departamentos organizacionais, através de uma transformação estrutural na economia mundial e das novas abordagens ao trabalho. Os atuais sistemas de produção podem ficar mais dinâmicos, flexíveis, eficientes e sustentáveis, com grandes possibilidades de customização dos produtos e serviços. Esta revolução tem um elevado potencial, que poderá contribuir para o aumento da eficiência dos recursos e ajudar a alcançar a sustentabilidade económica, mas estes benefícios não estarão isentos de desafios. Aliás, os rápidos avanços tecnológicos afetam os padrões de produção, competitividade e emprego, exercendo uma forte influência nos requisitos da educação e qualificação, bem como, no desempenho na determinação da divisão económica internacional do trabalho, entre outros (UNIDO, 2021), o que significa que, as tecnologias são o grande benefício da transformação industrial, pois, permitem acelerar a mudança e tem a capacidade de aumentar o foco no cliente, produção, flexibilidade e a redução de custos, mas também têm diversos riscos associados (Schlaepfer et al., 2015).

Posto isto, a Indústria 4.0 está a ter impacto em quase todas as organizações, proporcionando enormes vantagens, como custos reduzidos, processos de negócios simplificados, logística transparente, melhoria da precisão de *stocks* e das previsões, envio e entrega confiáveis e muito mais. Todas essas melhorias conduzem a um aumento perceptível na produtividade e receitas que, por sua vez, estimulam o crescimento económico das organizações (Patnaik, 2020).

De acordo com Fonseca (2018), as organizações que implementaram as tecnologias da Indústria 4.0, podem esperar diversos *upgrades*, através do aumento da posição competitiva, da criação de valor e minimização de riscos. Esta adoção proporciona um sistema de produção mais eficiente, rápido e com tecnologias inovadoras que permitem operações mais curtas, bem como, a minimização do tempo de prazos de entrega e tempo de lançamento de novos produtos e serviços. Além do referido, podem reduzir a variação de processos e produtos, para garantir maior consistência da qualidade.

Segundo Gilchrist (2016), existem diversos benefícios da Indústria 4.0, tais como:

- Maior competitividade das empresas;
- Aumento da produtividade;
- Aumento de receitas;

- Aumento das oportunidades de emprego, recursos humanos e gestão de recursos de tecnologias da informação;
- Aperfeiçoamento dos processos de produção;
- Maior conformidade da qualidade de produtos e serviços;
- Desenvolvimento de tecnologias;
- Melhor atendimento e assistência ao consumidor/cliente.

Para perceber as melhorias nesta área, as empresas têm de construir uma base digital. Esta é uma tarefa a longo prazo, que apresenta desafios a todos os níveis da organização. Os processos, estratégias e recursos têm que ser alterados, bem como as mentalidades (McKinsey Digital, 2015). Além disso, os líderes de empresas industriais devem ter a Indústria 4.0 no topo da lista de prioridades. No entanto, a implementação de um ambiente de produção como este é um processo que inclui a modernização de sistemas produtivos, mas, uma vez aplicada, torna as organizações ilimitadas (CGI, 2017).

A resposta aos benefícios da I4.0, pode ser decifrada, não apenas, por uma análise clara das vantagens, mas também pelas possíveis consequências a enfrentar por falta desta adoção. As organizações que ignoraram as novas tecnologias acabam por perder a popularidade, a participação no mercado, ou podem até mesmo deixar de existir (Ustundag et al., 2018). De acordo com Brunelli et al. (2017), as empresas reconhecem que a I4.0 cria oportunidades significativas na redução de custos, na flexibilidade, produtividade, qualidade e velocidade, tanto de produtos como de processos, no entanto sua aplicação é um desafio.

Segundo a CGI (2017), as empresas que não conseguirem adotar as tecnologias e não investirem em projetos piloto perderão vantagens competitivas e a oportunidade de liderar a transformação que está atualmente a decorrer. Posto isto, a Indústria 4.0 é um grande obstáculo para as empresas, mas também tem poderá proporcionar perspectivas magníficas para desenvolvimento futuro (Grzybowska et al., 2020).

De acordo com a CGI (2017), os principais desafios são:

- Conhecimento: desconhecimento das possibilidades da Indústria 4.0 e do que as tecnologias oferecem;
- Pessoas: mudança ou redundância de certos tipos de trabalhos, ou seja, tem de haver uma adaptação dos trabalhadores a novos ambientes de trabalho, onde o trabalho exigirá cada vez mais flexibilidade, competência, conhecimento e aptidões analíticas;

- *Cyber* Segurança: criação de um nível implacável de resiliência por parte das empresas, isto é, proteger os sistemas de controlo industrial e garantir que a segurança não é subestimada;
- Investimento: para a implementação da I4.0, são necessários investimentos, para criar uma infraestrutura robusta, segura e sempre atualizada;
- Colaboração: convergência entre a *Information Technology* (IT) e a *Operations Technology* (OT).
- Controlo das tecnologias de informação.

A nova revolução industrial, está a moldar a produção em todas as organizações. Embora as empresas reconheçam as oportunidades que estão a ser criadas, muitas delas continuam a lutar para renovar as fábricas e operações, para captar os benefícios e criar valor (Brunelli et al., 2017), o que significa que, origina, igualmente, benefícios, tal como, desafios (Schwab, 2016).

De acordo com Brunelli et al. (2017), existem cinco lições que ajudam as organizações a serem pioneiras na adoção da Indústria 4.0, que são:

- Utilizar a Indústria 4.0 para melhorar as operações;
- Integrar os recursos e as tecnologias novas e existentes;
- Gerir a informação como um fator crítico;
- Projetar cuidadosamente a transformação;
- Abordar a Indústria 4.0 como um projeto de gestão de mudança.

As empresas que seguem estas práticas, são as pioneiras na adoção da Indústria 4.0 e encontram-se bem posicionadas no mercado, visto que, captam os benefícios digitais nos diversos aspetos dos negócios (Brunelli et al., 2017).

Eventualmente, tudo se resume à disponibilidade do produto a qualquer hora e em qualquer lugar, a um custo competitivo. As exigências dos consumidores continuam em constante evolução, o que aumenta as expectativas na execução da cadeia produtiva. Os prazos de entrega são cada vez mais curtos, com serviços no mesmo dia ou até na hora. Os clientes finais exigem mais flexibilidade e mais opções de entrega que se ajustem ao novo estilo de vida. A velha maneira de produzir, armazenar e entregar produtos está obsoleta, e a incorporação das tecnologias e das novas estratégias industriais é inevitável (Tassel, 2019).



## Capítulo 4. Qualidade 4.0

Neste capítulo, é explorada a relação entre a Indústria 4.0 e o conceito de Qualidade, através de uma revisão bibliográfica, explorando as diferentes perspectivas do conceito denominado Qualidade 4.0. Além disso, é analisada a diferença entre a qualidade tradicional e a Qualidade 4.0, bem como seus benefícios, como se deve proceder à implementação do conceito e o nível de implementação atual nas organizações. É abordada a inovação e a tecnologia, o novo perfil do profissional da qualidade, a qualidade da informação, as exigências dos clientes e alguns estudos de caso para uma melhor percepção da importância do conceito na atualidade. No final, serão propostas algumas aplicações das ferramentas da Indústria 4.0 para a melhoria da qualidade nas organizações.

### 4.1. O que é a Qualidade 4.0?

A Quarta Revolução Industrial está a acontecer neste preciso momento e prolonga o impacto digital vindo da Terceira Revolução. Esta revolução liga pessoas, máquinas e dados de formas distintas, faz com que as tecnologias que antes eram acessíveis a poucas indústrias e pessoas, passem a ser acessíveis a todos. Para a qualidade, estas tecnologias são importantes, porque permitem a transformação da cultura, da liderança e da conformidade (Foidl et al., 2016).

Ao se analisar a história da indústria, é possível verificar a influência que os elementos da qualidade têm na produção e nos serviços, dado que, desempenham, e continuam a desempenhar um papel eficaz e valioso na dinâmica industrial (Faghil et al., 2021). Como é evidente, a qualidade dos produtos, serviços e processos é um dos principais componentes da competitividade. Desde os tempos antigos até aos dias atuais, a qualidade no sentido amplo, inclui a qualidade de vida, qualidade de produtos e serviços, qualidade de gestão e outros aspetos que têm desempenhado um papel crucial na vida humana. À medida que a tecnologia evolui, as relações sociais também se desenvolvem, e o mesmo aconteceu com a qualidade (Aleksandrova et al., 2019).

Portanto, a qualidade do século XXI representa desafios notáveis para todos os tipos de organizações, sendo que, ajuda a eliminar abordagens rígidas e formais. Todas as áreas dos processos de gestão da qualidade (planeamento, controlo, garantia e melhoria) podem ser desenvolvidas com mais eficiência através de uma combinação adequada de métodos e ferramentas de gestão da qualidade tradicionais com as novas tecnologias

introduzidas pela última revolução industrial (Nenadál et al., 2021). Na Figura 22, encontram-se expostos os diversos estágios da qualidade ao longo dos anos, onde é possível observar a importância da integração de diversos elementos das organizações, em cada fase da história da qualidade.

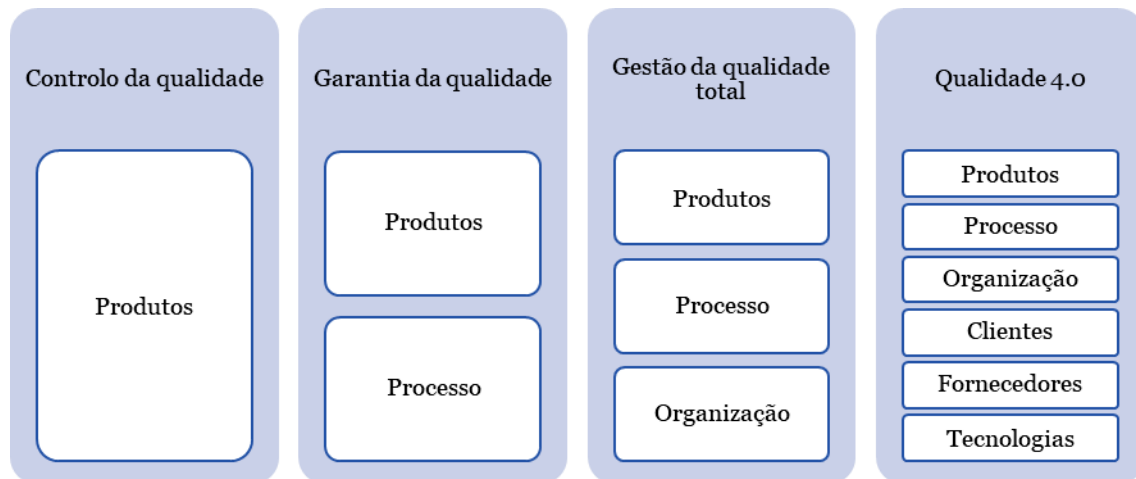


Figura 22-Evolução da qualidade (Adaptado de Paladini et al., 2012)

Atualmente, os sistemas e a gestão da qualidade baseada na ISO 9001, não garantem o sucesso das organizações e o cumprimento de todos os requisitos dos clientes. Neste caso, é necessário ter outras abordagens, nomeadamente as oferecidas pelas tecnologias modernas (Aleksandrova et al., 2019). Com o advento da Indústria 4.0, a gestão da qualidade começa a avançar pela exploração tecnológica e digital, vinculada às redes de dados, dando origem ao nome Qualidade 4.0 (Zaidin et al., 2018).

O nascimento do conceito, definição e entendimento da Qualidade 4.0, surgiu no relatório da ASQ *Future of Quality*, no ano de 2015, embora nesse documento não seja mencionado o termo específico, expressa as implicações da qualidade na Quarta Revolução Industrial, com o objetivo de caracterizar a evolução da qualidade, auxiliando os profissionais desta comunidade nos desafios futuros (Radziwill, 2018). Em 2017, o termo Qualidade 4.0, foi introduzido por Dan Jacob, diretor de pesquisa e analista da *LNS Research*, com o intuito de mostrar uma nova abordagem à qualidade, tal como a sua importância nas organizações futuras (Jacob, 2017).

Portanto, a Qualidade 4.0 é um ramo do movimento da I4.0, associado à transformação digital. Pode ser definida como uma aplicação de tecnologias da I4.0 em conjunto com os métodos e ferramentas de gestão da qualidade, ou também como a melhoria de ligações, da inteligência e automatização para a melhoria do desempenho e da excelência

organizacional (Radziwill, 2020). De acordo com Johnson (2019), a Qualidade 4.0 significa utilizar a tecnologia para mostrar que a qualidade deve realmente ser uma estratégia de todas as empresas. Quando todos os colaboradores têm o foco no desempenho da qualidade, todos têm uma perspectiva das responsabilidades individuais. Presentemente, a qualidade passa a ser uma função de todos.

Para Jacob (2017), a qualidade associada à última revolução, não substitui os métodos tradicionais anteriormente desenvolvidos, no entanto, tem como objetivo melhorá-los. Aliás, o conceito pode ser definido como a metodologia da qualidade utilizada na era digital para sustentar o profissional da qualidade e criar excelência organizacional (ASQ, 2018). Isto significa que a qualidade é um fator chave, que permite a avaliação, a aquisição de vantagens competitivas e a capacidade de entender o que significa sucesso no contexto digital (Ralea et al., 2019).

Segundo Kupper et al. (2019), a Qualidade 4.0 (Q4.0) está entre os desenvolvimentos que dão origem às fábricas do futuro, na qual as estruturas e processos são aperfeiçoados digitalmente, aumentando a produtividade e a flexibilidade em toda a cadeia de produção. As tecnologias digitais podem ajudar a melhorar a qualidade de várias formas. Por exemplo, as empresas podem monitorizar processos, recolher dados em tempo real e proceder à sua análise para prever problemas na qualidade, tal como, necessidades de manutenção. As ferramentas digitais também permitem que as pessoas façam o seu trabalho de forma mais rápida, melhor e a custos mais reduzidos.

De acordo com Sony et al. (2020), este tema é muito mais do que as tecnologias. É um novo método para o qual as ferramentas digitais podem ser usadas, para que as organizações possam fornecer produtos de alta qualidade de maneira consistente e cada vez mais otimizada. Assim, qualidade impulsiona melhorias em toda a cadeia de valor e oferece às empresas a capacidade de determinar a qualidade de um produto de forma mais eficiente e eficaz, visto que, se apoia nas novas tecnologias (Ralea et al., 2019). Além do aspeto técnico, mencionado anteriormente, também promove a cultura organizacional e as abordagens de gestão melhoradas (Durana et al., 2019). O conceito qualidade agora é necessário, não apenas, em termos de especificações de produtos/serviços, mas também ao nível da agilidade, capacidade de resposta e experiência do produto (Asif, 2020).

Segundo o autor Nenadál (2020), o conceito de Qualidade 4.0 (Figura 23) tem as seguintes características:

- Este conceito tem origem na Indústria 4.0 e engloba as questões da gestão da qualidade ao nível digital;
- É um termo genérico, que descreve uma abordagem baseada nos dados para gerir os requisitos de qualidade;
- As quatro principais áreas do conceito são: o design e desenvolvimento, a produção, os serviços e a cultura empresarial;
- O suporte de IT é uma pré-condição crucial para a prática do Qualidade 4.0;
- A Qualidade 4.0 combina as novas tecnologias (*Cloud*, *Big Data*, *Additive Manufacturing*, Realidade Aumentada, *Internet of Things*, entre outras) com métodos e ferramentas de gestão da qualidade pré-existentes;
- A transformação da gestão da qualidade tradicional para a Qualidade 4.0 exige recursos financeiros, tempo e conhecimento e dedicação por parte dos trabalhadores;
- Uma ligação confiável e rápida, bem como a interação entre máquinas, pessoas, unidades organizacionais e partes interessadas não são os objetivos da Qualidade 4.0, as ligações são vistas como um meio de chegar a uma qualidade eficaz e eficiente.



Figura 23-Tecnologias e características associadas à Qualidade 4.0 (Reedy, 2019)

Além disso, o apoio da gestão de topo é fundamental para o sucesso da Qualidade 4.0, não só em termos de aplicação de recursos, mas também em termos de motivação de trabalhadores para a aceitação desta implementação. Líderes fortes, também ajudarão a garantir que as políticas e os objetivos estejam bem estabelecidos e sejam compatíveis com o contexto e direção estratégica da organização (Sony et al., 2020).

Portanto, a Qualidade 4.0 é um subconjunto da Indústria 4.0, que integra os recursos da última revolução industrial com as ferramentas e metodologias tradicionais da qualidade para se obter a excelência operacional, desempenho e inovação. Combina pessoas,

processos e tecnologias para atingir os objetivos organizacionais, ou seja, juntamente com a digitalização completa dos sistemas de gestão da qualidade. Como mencionado anteriormente, não substitui as ferramentas e metodologias tradicionais de qualidade, mas sim permite melhorá-las e otimizá-las (Tomic, 2020). Na Figura 24, encontra-se representado um sistema, onde as ferramentas de gestão da qualidade tradicional operam em simultâneo com a Indústria 4.0, de modo a possibilitar uma maior eficácia e eficiência organizacional.

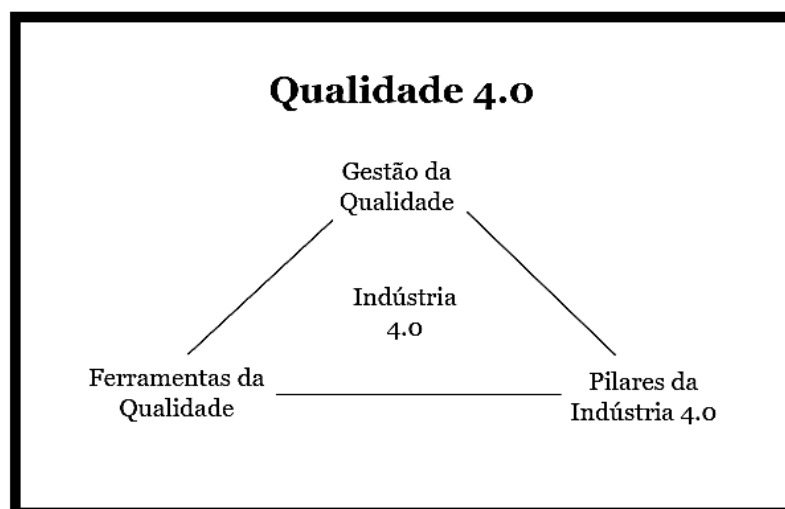


Figura 24-Funcionamento da Qualidade 4.0 (Adaptado de Nenadál, 2020)

Enquanto a Indústria 4.0 se concentra nas tecnologias, visto que, é o seu principal foco, a qualidade é centrada no cliente. As tecnologias facilitam a interação com comprador, embora, ambas as abordagens tenham como objetivo melhorar desempenhos e resultados. Isto significa, que sem a ajuda da qualidade dos produtos e dos processos, a I4.0 não pode melhorar totalmente a flexibilidade e a produtividade (Fonseca et al., 2021). Segundo Ralea et al. (2019), a estratégia de Q4.0 fornece a capacidade de alinhar as práticas da gestão da qualidade, enquanto que a I4.0 ajuda as empresas a alcançarem a excelência operacional. Na Tabela 8, é exposta uma pequena comparação entre os dois conceitos.

Tabela 8-Comparação entre a Indústria 4.0 e a Qualidade 4.0 (Rowlands et al., 2021)

|            | Indústria 4.0                                  | Qualidade 4.0                 |
|------------|--|-------------------------------|
| Foco       | Tecnologia.                                    | Cliente.                      |
| Tecnologia | IoT.   | Dados/Informações.            |
| Benefícios | Flexibilidade.                                 | Produtividade.                |
| Evolução   | Da automatização para a <i>Smart Factory</i> . | Dos processos para o cliente. |

Resumindo, a Qualidade 4.0 é uma referência à Indústria 4.0 (Nenadál, 2020), e oferece grandes oportunidades para a gestão da qualidade ser uma força de liderança (Zonnenshain et al., 2020). Além disso, a construção de um novo sistema de gestão da qualidade deve ser baseada nas tecnologias digitais, *softwares* e nas ferramentas de qualidade já existentes (Aleksandrova et al., 2019). Ou seja, não há dúvidas que este conceito é ampliado na Indústria 4.0 (Hyun Park et al., 2017) e que a sua aplicação é fundamental para alcançar a excelência organizacional e empresarial (Zonnenshain et al., 2020), uma vez que, a qualidade liga todas as áreas da organização (ICQEM20, 2020).

## 4.2. Qualidade 4.0 vs. Qualidade tradicional

O tópico da gestão da qualidade é um tema perene e infindável no mundo moderno, embora tenha sido bastante popular nas décadas de 1980 e 1990. As organizações do século XXI, ainda não têm este conceito bem implementado nas suas organizações (Gunasekaran et al., 2019), visto que, ainda hoje a qualidade costuma estar encarregue, apenas, pela função de controlo e verificação de operações (Johnson, 2019). Na Figura 25, está representada uma linha do tempo, na qual são indicados os acontecimentos mais importantes, ao nível da qualidade, e a nível industrial.

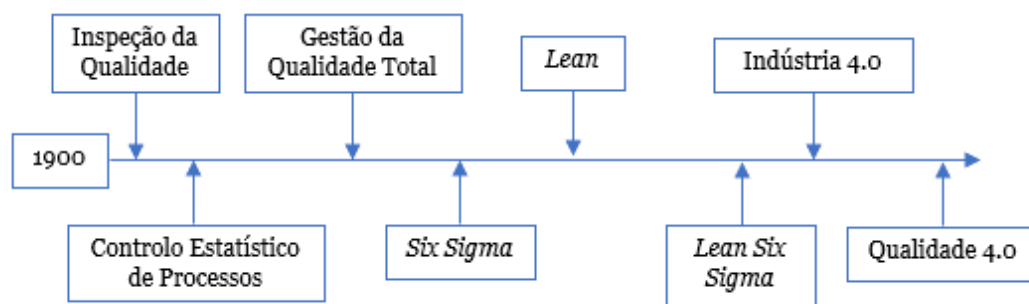


Figura 25-Linha do tempo dos desenvolvimentos de qualidade (Adaptado de Rowlands et al., 2021)

Tradicionalmente a qualidade é considerada a função do departamento da qualidade, mas neste novo paradigma a situação altera-se (Johnson, 2019). A gestão da qualidade deixa de funcionar somente como um registo de eventos, e passa a ser integrada nos processos, com o objetivo de que todos os departamentos participem e sejam responsáveis pelos melhores produtos/serviços, isto significa que, os sistemas da qualidade têm de ser integrados com a I4.0, a fim de, haver mais colaboração e interação entre todos os colaboradores da organização (Miller, 2019).

De acordo com Radziwill (2020), na Quarta Revolução Industrial há duas grandes mudanças, uma é o aumento da quantidade de informação e outra são as metas e expectativas sem precedentes da qualidade, que podem ser alcançadas de forma mais rápida e completa, através da utilização de tecnologias, que são cada vez mais poderosas e acessíveis.

A digitalização cria um cenário único, em que os métodos tradicionais de gestão da qualidade têm que incorporar os avanços tecnológicos para alcançar a excelência operacional, desempenho e inovação (Gunasekaran et al., 2019), isto significa que o sistema de gestão da qualidade tradicional começou a ser depreciado, devido às exigências progressivas do mercado (Ralea et al., 2019). Os sistemas e processos da qualidade de ontem são insuficientes para as organizações da I4.0, onde há um caminho claro para implementar a Qualidade 4.0 (Jacob, 2018a).

De acordo com Lim (2020), as tecnologias contribuem significativamente para a gestão da qualidade, porque permitem a transformação cultural, conformidade entre processos, pessoas, máquinas, produtos, etc. Por outras palavras, o que é pretendido é criar e maximizar o valor da qualidade na estrutura industrial. Na Figura 26, é ilustrado como a Qualidade 4.0 integra os elementos da qualidade tradicional (Sistemas, Gestão e Engenharia), com a Indústria 4.0, que liga as pessoas, tecnologias, processos, materiais e máquinas.



Figura 26-Evolução da qualidade tradicional integrada com Quality 4.0 (Lim, 2020).

Segundo Rowlands et al. (2021), o novo conceito de qualidade não é uma alternativa aos paradigmas já existentes, mas sim, uma evolução. Através da aplicação estratégica de tecnologia a esses paradigmas, as organizações podem adotar uma abordagem de qualidade verdadeiramente centrada no cliente. A Qualidade 4.0 é caracterizado por menos desperdício, decisões mais rápidas, configuração mais rápida, *lead time* reduzido, menos *recalls* de produtos e maior agilidade estratégica.

Um exemplo evidente da diferença entre os dois tipos de qualidade, é que na forma tradicional havia a interação humana para controlar a qualidade das máquinas e equipamentos, o que significava interrupções na produção. Nestas paragens eram efetuados ajustes e reparações, caso fosse detetada alguma anomalia, através da medição regular e análise estatística do produto. No entanto, com aplicação da Q4.0 e as novas tecnologias industriais, as máquinas tornam-se inteligentes o suficiente para fazer as medições e o ajuste da produção conforme o tipo de peça (autocalibração e auto-ajuste), visto que, a informação é fornecida em tempo real, tanto por amostragem como por controlo total, a partir da comunicação inteligente com o ser humanos (Lim, 2020).

Outro exemplo são as tarefas e os sistemas baseados em papel. Até há pouco tempo, as organizações geriam a maioria dos seus dados nos departamentos de Controlo da Qualidade, através do fluxo de trabalho baseado no registo em papel. O uso de técnicas antiquadas para manter registos críticos da qualidade requeria inúmeras verificações manuais para garantir a integridade dos dados e os padrões de qualidade dos produtos. Estes sistemas são morosos, sujeitos a erros humanos e vulneráveis à perda de informação, são inadequados e podem ser substituídos por processos baseados na aplicação da IoT, que recolhe o máximo de dados em tempo real, e ajuda as organizações a melhorar o controlo de toda a produção (Innopharma Technology, 2021).

Com tantos desenvolvimentos, que mudam a forma como vivemos e trabalhamos, não é de surpreender que, tanto a gestão da qualidade como a engenharia da qualidade se alterem (Radziwill, 2020). A Q4.0 torna o ritmo do ambiente organizacional mais rápido e autodirigido (Miller, 2019), e as empresas que digitalizam a gestão da qualidade, aplicando as tecnologias da Indústria 4.0, melhoram a monitorização de processos e os resultados (Comstock, 2019).

Na Tabela 9, encontra-se exposto como a transformação da qualidade é profunda e completa, uma vez que há a integração da inteligência e de sistemas autónomos e conectados (Radziwill, 2020).

Tabela 9- Diferença entre as metas de qualidade tradicional e Qualidade 4.0 (Radziwill, 2020)

| Qualidade Tradicional   | Qualidade 4.0   |
|---|---|
| Redução dos custos totais das operações, através da eliminação de desperdícios e etapas que não acrescentam valor à atividade;            | Minimização dos custos totais de operações, através da eliminação de etapas que não acrescentam valor à atividade;                              |
| Redução de falhas internas e externas;  | Eliminação de falhas internas e externas;   |
| Redução dos custos de avaliação, simplificando auditorias, análises e atividades relacionadas;  | Minimização ou eliminação dos custos de avaliação, de modo a automatizar auditorias, análises e também identificar problemas antes que ocorram; |
| Redução das variações;  | Minimização das variações, quando apropriado;   |
| Utilização da Teoria das Restrições, análise de Pareto ou análise de custo/benefício para determinar atribuição de recursos e dos riscos. | Sistemas inteligentes e automáticos fornecem orientação para afetar recursos de forma ideal;  |
|   | Aumento do lucro identificando novas oportunidades de crescimento.  |

Além do mencionado anteriormente, a qualidade tradicional não é executada em tempo real, o que quer dizer que existem sempre lapsos no tempo, entre o que está a ocorrer na produção e a quando a informação chega ao departamento da qualidade (Lim, 2020).

Embora a Q4.0 inclua a digitalização da qualidade, ela também deve incluir tecnologias da qualidade, processos e pessoas que afetam a digitalização, na Tabela 10, encontra-se expostas as novas capacidades oferecidas pela I4.0 à gestão da qualidade. No passado, a gestão de qualidade era realizada a partir da tomada de decisões baseada nos dados recolhidos pelas pessoas, mas, hoje em dia, as decisões baseiam-se na informação recolhida em tempo real, o que torna mais importante o papel dos analistas devido aos *Big Data* (Jacob, 2017).

Tabela 10-Transformação da Qualidade Tradicional na Qualidade 4.0 (Ralea et al., 2019)

| Qualidade Tradicional |   | Qualidade 4.0           |
|-----------------------|---|-------------------------|
| Planeamento           | → | Dados                   |
| Coordenação           |   | Análise                 |
| Organização           |   | Conexão                 |
| Controlo              |   | Colaboração             |
| Garantia de Qualidade |   | Desenvolvimento de APPS |
|                       |   | Escalabilidade          |
|                       |   | Gestão de Sistemas      |
|                       |   | Conformidade            |
|                       |   | Cultura                 |
|                       |   | Liderança               |
|                       |   | Competências            |

Segundo Aleksandrova et al. (2019), o novo conceito de qualidade, tem as seguintes imposições:

- Receber, processar e analisar informação sobre os processos em tempo real, para fornecer às organizações opções cada vez melhores;
- Desenvolver e apresentar soluções e respostas às mudanças no ambiente organizacional;
- Otimizar a estrutura funcional e organizacional, bem como o número de pessoas, gestores e unidades de trabalho, através de uma base estratégica;
- Garantir o controlo da qualidade dos processos e produtos, assim como as não conformidades.

Sendo assim, a Qualidade 4.0 baseia-se na qualidade tradicional e na Indústria 4.0 (Jacob, 2018a), sendo que, o papel do gestor da qualidade é um grande desafio, principalmente na implementação, ou seja a qualidade não mudou a essência, apenas evoluiu (Elg et al., 2011).

### 4.3. Eixos e Ferramentas da Qualidade 4.0

Uma estratégia baseada nos princípios da Qualidade 4.0 pode permitir que as organizações abordem problemas de longa data e analisem as causas que originam barreiras, devido à falta de comunicação (Ralea et al., 2019).

A *LNS Research*, através de um estudo realizado pelo autor, diretor de investigação e principal analista de qualidade, Dan Jacob, no ano de 2017, identificou 11 eixos da Qualidade 4.0 (Figura 27), que as empresas podem usar para educar, planejar e agir. Esta



- *Analytics*: infelizmente, a qualidade muitas vezes vacila no tema análise. O estudo prova que 37% do mercado identifica que existem métricas fracas de análise e fontes de dados, isto cria um grande obstáculo que impede a qualidade de atingir os objetivos organizacionais. Como não há adoção suficiente de tecnologias e de análise de dados em tempo real, geralmente, as organizações, operam com base no histórico, e não na situação atual, o que origina más decisões. Portanto, neste estudo são identificados quatro tipo de categorias da análise (Figura 28): descritiva (número de eventos de qualidade abertos); de diagnóstico (tempos de ciclo do processo de qualidade para identificar gargalos); preditiva (como por exemplo a análise de tendência) e prescritivo que utiliza o *Big Data* e o *Machine Learning* para dados tradicionais ou o *Big Data* para prever falhas de uma máquina ou processo (Jacob, 2017).



Figura 28-Estrutura da análise da Qualidade 4.0 (Jacob, 2017)

As empresas que procuram entender e aplicar a Qualidade 4.0 devem construir estratégias analíticas depois ou durante a aplicação de uma estratégia de recolha de dados. A análise aplicada às informações de baixa veracidade, que fornecerá apenas *insights* de baixa exatidão, também deve ser tida em consideração, porque esta nova tática é bastante benéfica e igualmente desafiadora para todas as organizações que pretendem destacar-se no mercado (Jacob, 2017).

- *Conexão*: em termos da Qualidade 4.0, a conexão refere-se à ligação entre a IT e a OT. Neste contexto, a IT refere-se às ferramentas do sistema de gestão da qualidade, ao planeamento de recursos e à gestão do ciclo de vida do produto, enquanto a OT é a tecnologia utilizada em ambientes industriais, laboratórios e serviços. Isto significa que, os sensores podem ligar pessoas, produtos, dispositivos e processos, por meio de dispositivos inteligentes. O aproveitamento

desta ligação permite a recolha de *feedback* em tempo real, para que haja decisões ponderadas (Jacob, 2017).

- Colaboração: o *Enterprise Quality Management System (EQMS)*, é um *software* que analisa e gere, conteúdos e processos, para que haja qualidade e conformidade em toda a cadeia de valor (Littlefield, 2012), pode assim, ajudar as organizações a otimizar e sintetizar as práticas da qualidade para uma melhor conformidade e aumentar a eficiência. No entanto, de acordo com a *LNS Research*, apenas 21% das organizações adotaram um EQMS, deixando a grande maioria das empresas a gerir as atividades através da Qualidade Tradicional. Posto isto, a Qualidade 4.0, pode promover, através do EQMS, novas ferramentas e práticas, como por exemplo o *blockchain*, para obter *insights* sobre fatores como a satisfação do cliente e melhor visibilidade do movimento de peças e produtos (Jacob, 2017).
- Desenvolvimento de Aplicações (APPS): no mundo da atual, os *smartphones* e os *tablets* tornaram as aplicações, parte da vida quotidiana dos indivíduos e das organizações, que fazem proveito desta nova tendência. Mas, mais do que isso, as aplicações são uma ferramenta cada vez mais importante para as marcas, visto que, criam uma relação de proximidade com o cliente, bem como funcionários e outras partes interessadas, recolhendo informações vitais e *feedback* (Jacob, 2017).
- Escalabilidade: é a capacidade de oferecer suporte ao volume de dados, utilizadores, dispositivos e análises a uma escala global. Sem a escalabilidade, a qualidade tradicional e a Qualidade 4.0 não são tão eficazes, e as empresas são incapazes de harmonizar processos, melhorar práticas, competências e lições aprendidas. Como referido anteriormente, 37% das empresas enfrentam problemas com as fontes de dados e os sistemas fragmentados para atingir os objetivos de qualidade. Portanto, a escalabilidade é crítica para a Qualidade 4.0 (Jacob, 2017).
- Sistemas de gestão: como referido previamente, apenas 21% das organizações adotaram um sistema de gestão de qualidade empresarial totalmente ciente dos benefícios que o EQMS adequado traz para a organização. Para fazer uso completo e desfrutar dos muitos benefícios da Qualidade 4.0, as organizações precisarão de analisar os processos de automatização com os *softwares* e integrar

e conectar os processos com outros sistemas e operações. Ao melhorar a autonomia de sistemas, as organizações reduzem o tempo de execução de processos dos funcionários, permitindo que haja foco na inovação e na melhoria (Jacob, 2017).

- **Conformidade:** a Qualidade 4.0 fornece uma variedade de ferramentas e técnicas que podem ser implementadas para tornar a atividade de conformidade automática. Por meio da colaboração social, as organizações podem compartilhar abordagens de conformidade bem-sucedidas em diferentes setores e locais de trabalho. Uma análise de dados significativa pode alertar as organizações sobre possíveis violações da conformidade, de modo a permitir a implementação de ações preventivas. A integração da tecnologia da informação com a tecnologia operacional, pode ajudar a robotizar as tarefas relacionadas com a conformidade e a recolha de informação. Além disso, permite que as organizações avaliem as estratégias de conformidade atuais e identifiquem oportunidades de melhoria (Jacob, 2017).
- **Cultura:** os líderes devem sentir o impulso de desenvolver uma cultura de qualidade, uma vez que a qualidade detém a responsabilidade final na execução do processo. Uma empresa que possui uma cultura de qualidade exibe quatro elementos principais: participação no processo, responsabilidade, credibilidade e fortalecimento (Figura 29). As empresas precisam de definir metas de participação de processos multifuncionais, responsabilidade polivalente, credibilidade da qualidade e do trabalho em todas as funções. Muitas organizações pensam que promovem e estabelecem uma cultura de qualidade, no entanto, de acordo com a *LNS Research*, apenas 13% das equipas multifuncionais entendem claramente como a qualidade contribui para o sucesso estratégico das organizações. Ao relacionar dados, análises e processos, de modo a melhorar a visibilidade, conexão, colaboração e perceções, a Qualidade 4.0 torna mais acessível uma autêntica cultura de qualidade (Jacob, 2017).

| Qualidade Tradicional   |                          | Qualidade 4.0 |  |
|-------------------------|--------------------------|---------------|--|
| <i>Cross-Functional</i> | Participação no processo | Conexão       |  |
|                         | Responsabilidade         |               |  |
|                         | Credibilidade            |               |  |
|                         | Multifuncionalidade      |               |  |

Figura 29-Elementos da cultura na Qualidade 4.0 (Jacob, 2017)

- **Liderança:** apesar do amplo interesse pela melhoria da qualidade e da tendência de incluí-la como aumento no valor organizacional, isto não acontece, dado que, apenas 13% das empresas afirmam que a qualidade é prioridade para a administração. Para resolver este problema, as equipas da qualidade devem realinhar o propósito para vincular claramente os objetivos estratégicos da organização, e os líderes da qualidade devem defender e liderar a qualidade em toda a empresa, inclusive ao nível executivo. De acordo com a *LNS Research*, apenas 37% das organizações acreditam que a qualidade é crítica para a satisfação do cliente, 26% concordam que a função de qualidade tem um papel claro e convincente na entrega da estratégia corporativa, enquanto, para apenas 13% a qualidade é uma prioridade para a gestão de topo. A qualidade da nova era representa uma oportunidade para as equipas da qualidade alinharem claramente os seus objetivos e as práticas com as metas estratégicas, mas para isso devem convencer a gestão de topo dos benefícios obtidos a partir da Qualidade 4.0 (Jacob, 2017).
- **Competência:** a Qualidade 4.0 engloba uma variedade de tecnologias que podem ser utilizadas para melhorar a competência. As ferramentas da I4.0, podem ser aproveitadas para partilhar boas práticas e experiências dentro das organizações e até mesmo entre organizações. Os resultados da Inteligência Artificial e dos sistemas de *Machine Learning* podem ser utilizados para desenvolver novos conhecimentos, enquanto os sistemas de Realidade Aumentada e de Realidade Virtual podem ser utilizados para aperfeiçoar o *know-how* dos trabalhadores. As ferramentas inteligentes podem ajudar na avaliação dos funcionários, enquanto, os sistemas de *Machine Learning*, Realidade Aumentada e de Realidade Virtual podem ser implementados para melhorar as capacidades dos trabalhadores (Jacob, 2017).

A melhor forma de entender a Qualidade 4.0 é observando os eixos em que esta se baseia, em contraste com a qualidade tradicional, por isso, na Tabela 11 é exposto um breve resumo sobre os onze eixos referidos anteriormente, bem como uma comparação entre a qualidade tradicional e a Qualidade 4.0.

Tabela 11- Onze eixos da Qualidade 4.0 (Adaptado de Tempo Automation, 2021)

| Qualidade Tradicional Vs. Qualidade 4.0 |  |  |
|---|--|--|
| Eixos                                   | Qualidade Tradicional  | Qualidade 4.0  |
| Dados                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa velocidade na aquisição de informação;</li> <li>Volume de dados fragmentado.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta velocidade, variedade, veracidade, transparência e volume de dados;</li> <li>Dados conectados.</li> </ul>  |
| <i>Analytics</i>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos tradicionais.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicação do <i>Big Data</i> para a análise de dados.</li> </ul>  |
| Conexão                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Separação entre IT e OT.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ligação entre IT e OT.</li> </ul>   |
| Colaboração                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Principalmente interno e isolado dos clientes e fornecedores.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Incorporação de todos os <i>stakeholders</i>.</li> </ul>  |
| Desenvolvimento de <i>Aplicações</i>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baseado na <i>Web</i>.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baseado em funções que incluem os fornecedores, operadores e clientes.</li> </ul>                               |
| <i>Escalabilidade</i>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Limitada;</li> <li>Isolada;</li> <li>Num só local.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ilimitada;</li> <li>Conectada;</li> <li>Na <i>Cloud</i>.</li> </ul>   |
| Sistemas de Gestão                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Processos baseados num software.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Conexão de processos automatizados;</li> <li>Automatização de interações nos processos.</li> </ul>              |
| Conformidade                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestão de processos;</li> <li>Transferência de informação.</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestão de processos;</li> <li>Transferência de informação;</li> <li>Automatização;</li> <li>Conexão.</li> </ul> |
| Cultura                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Multifuncionalidade para instituir uma cultura de qualidade.</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitar os funcionários para estabelecer uma cultura de qualidade.</li> </ul>                                 |
| Liderança                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Objetivos alinhados com a gestão de topo.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Extensão para cargos de liderança, com o objetivo de estabelecer melhor a qualidade.</li> </ul>                 |
| Competência                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Com base em conhecimentos e experiências individuais.</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Treino e partilha de experiências e conhecimento para obter melhores resultados.</li> </ul>                     |

As empresas líderes, neste momento, têm de ver além da qualidade tradicional, para alcançar os princípios/pilares referidos, bem como as iniciativas da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0 (Ferrere, 2018).

Além disso, as ferramentas da Qualidade 4.0, devem ser aproveitadas para atenuar os desafios da implementação e apoiar a transformação digital. Utilizar estas tecnologias

não é uma escolha, visto que, são fundamentais para todas as empresas (ASQ, 2021e). Segundo a ASQ (2021e), a Quarta Revolução Industrial forneceu sete ferramentas e tecnologias (Tabela 12), tal como a qualidade tradicional, que podem ser usadas para melhorar a qualidade nas organizações, estas são:

- Inteligência artificial: está relacionada com o processamento de linguagem, assistência pessoal, robótica e tomadas de decisões complexas;
- *Big Data*: é uma infraestrutura de acesso fácil a fontes de dados, ferramentas para gerir e analisar grandes quantidades de informação;
- *Blockchain*: aumenta e monitoriza as transações de forma transparente, para que os objetivos da qualidade sejam atendidos;
- *Deep Learning*: reconhece padrões complexos, cria som e vídeo fictício, a partir de vídeos reais, ajustando as imagens com base em heurísticas;
- *Enabling Technologies*: está associado aos sensores, à *Cloud*, Realidade Aumentada, Realidade Mista, Realidade Virtual, *streaming* de dados, redes 5G e à IoT;
- *Machine Learning*: está relacionado com a análise de texto, sistemas de recomendação, filtros de spam de e-mail, deteção de fraude e previsões;
- *Data Science*: é a prática de reunir conjuntos de dados heterogêneos, para fazer previsões, realizar classificações, encontrar padrões em grandes conjuntos de dados, reduzir grandes conjuntos de observações a grupos significativos, aplicar técnicas tradicionais sólidas para originar modelos e soluções viáveis.

Tabela 12-Ferramentas da Qualidade 4.0 (Adaptado de ASQ, 2021b e ASQ, 2021e)

| Ferramenta da Qualidade    | Ferramentas da Qualidade 4.0 |
|----------------------------|------------------------------|
| Fluxograma                 | Inteligência artificial      |
| Diagrama de Pareto         | <i>Big Data</i>              |
| Diagrama de causa e efeito | <i>Blockchain</i>            |
| Histograma                 | <i>Deep Learning</i>         |
| Folha de verificação       | <i>Enabling Technologies</i> |
| Carta de controlo          | <i>Machine Learning</i>      |
| Diagrama de dispersão      | <i>Data Science</i>          |

A Qualidade 4.0, tal como os seus onze eixos e as novas ferramentas da qualidade são perfeitos para as organizações prosperarem no mercado onde atuam, e têm como objetivo proporcionar o alinhamento de todas as funções de qualidade dentro da estratégia organizacional (Jacob, 2018b). Portanto, a estrutura de Qualidade 4.0 pode ser aplicada para várias finalidades, e demonstra ser assertiva e de fácil utilização para

as empresas, que implementam tanto as tecnologias, como os princípios deste conceito (Armani et al., 2021).

Todas as organizações devem reconhecer que, um investimento nos recursos da qualidade pode muitas vezes gerar novas oportunidades, que originam vantagem competitiva (Carpintero et al., 2017). A capacidade das organizações alcançarem as técnicas e tecnologias do novo conceito de qualidade é a chave para o sucesso no mercado, nos próximos anos (Reedy, 2019), dado que, a Q4.0 pode melhorar a qualidade e os resultados da I4.0 (Fonseca et al., 2021).

#### **4.4. Controlo da Qualidade na Indústria 4.0**

A qualidade, independentemente da área onde atua, não deve ser vista pelas empresas como uma ferramenta de supervisão, mas sim como uma forma de antecipar problemas. Face à realidade atual, cheia de mudanças, repleta de novidades, produtos, marcas e concorrentes, as oportunidades proporcionadas por um sistema de controlo da qualidade robusto, acaba por fazer com que as organizações criem melhores estratégias, com o intuito de manter e fortalecer o vínculo com os clientes (Natarajan, 2017).

Os métodos gestão da qualidade que eram controlados por pessoas, no passado, estão a alterar-se, devido ao desenvolvimento de várias tecnologias de IT, como os *Big Data* e a Inteligência Artificial, em particular, as empresas líderes de tecnologia, que acabam por desenvolver e incorporar sistemas de controlo da qualidade a todo o nível organizacional (Lee, 2018).

Ao aplicar equipamentos e procedimentos atualmente desenvolvidos na Quarta Revolução Industrial, torna-se possível recolher informações desconhecidas, que levam a novas oportunidades no campo da qualidade. Naturalmente, a gama de possibilidades torna-se mais ampla e em breve as organizações serão capazes de fazer previsões fiáveis sobre os erros das máquinas, equipamentos e produtos tecnológicos, ou seja, há uma maior eficiência no funcionamento e os sistemas de produção tornam-se mais flexíveis (Illés *et al.*, 2017). Deste modo, com os sistemas cada vez mais integrados e interligados, a avaliação e o controlo de processos isolados torna-se obsoleto (ICQEM20, 2020).

Durante muitos anos os engenheiros da qualidade utilizaram o controlo estatístico de processos para compreender e analisar a variabilidade inerente aos procedimentos. Atualmente, os recursos que definem a I4.0, têm como objetivo recolher a maior quantidade de informação possível, já que ter informação é ter poder. Através dos

avanços das ferramentas digitais e o aproveitamento desse dados, há redução de defeitos e a diminuição de custos (Tulip, 2020).

De acordo com Szajna et al. (2020), o controlo da qualidade é parte indispensável nos processos de produção, sendo que se for aplicado adequadamente reduz os custos de produção e leva ao aumento da satisfação do cliente. Mas para que isto ocorra, deve ser garantido o conhecimento adequado dos processos, juntamente com uma grande quantidade de dados estatisticamente analisados. É necessário, portanto, apoiar o controlo da qualidade e as ferramentas rápidas e eficientes de recolha, processamento, transmissão e análise de informações.

Segundo Lee et al. (2019), o departamento da qualidade tem de adotar as novas tecnologias e usá-las para impulsionar a inovação, e ao mesmo tempo melhorar a qualidade em geral. A digitalização pode auxiliar na capacidade de gerir e monitorizar produtos e processos para evitar problemas e tempo perdido. As informações recolhidas vão melhorar o desempenho e as características do produto, fornecendo um *feedback* preciso. Isto significa que, embora nesta era haja uma maior ênfase na otimização de processo, também há uma procura pela otimização dos produtos de forma individual, dado que, este aperfeiçoamento origina zero defeitos, o que quer dizer, que o controlo da qualidade é necessário para atingir a excelência organizacional, mas só é possível através da alteração de técnicas de verificação (Miller, 2019).

O controlo tradicional da qualidade engloba a recolha e análise de diversos conjuntos de informações, originados no processo produtivo, para posterior identificação de causas e efeitos. No entanto, com o novo tipo de qualidade, todos os dados estruturados e não estruturados, relevantes para o processo, são analisados automaticamente e rapidamente (Lim, 2020).

De acordo com Aleksandrova et al. (2019), a origem dos desenvolvimentos tecnológicos leva a uma mudança de visão ao nível da produção. Não existem apenas dispositivos de controlo numérico, mas sim sistemas tecnológicos automatizados e robotizados, o que significa que os métodos tradicionais da qualidade ficam aquém das capacidades digitais, posto isto, a integração das tecnologias melhora a eficiência e a agilidade de todas as ações de controlo.

De acordo com Anand et al. (2020), embora a garantia e o controlo da qualidade sejam aspetos importantes da produção, a indústria pretende passar da deteção de defeitos à

prevenção de defeitos, e para que isto aconteça, as máquinas passam a usar sistemas especializados para monitorizar as variáveis, melhorando as operações em tempo real com base no *feedback* obtido pelos processos. No entanto, quando as fábricas se tornarem extensivamente e totalmente automatizadas, serão capazes de capturar todos os dados relativos à produção. Isso incluirá dados dos processos, defeitos detetados, ação corretiva relacionada, o acompanhamento de produtos e uso de material e produtos acabados.

Desta forma, os sistemas da qualidade que se encontram ligados à rede têm três elementos cruciais que melhoram o controlo da produção:

- Monitorização de operações em tempo real, para permitir a identificação rápida de desvios, resolução de problemas e tomada de decisão;
- Alertas baseados na análise avançada, previsão de tendências de desempenho e perceções de melhoria para evitar problemas de qualidade;
- Obtenção do desempenho do processo ponta a ponta, de modo a fornecer uma visão consolidada sobre o desempenho de operações (Engelstädter et al., 2020).

Na Figura 30 é exposto um esquema sobre qualidade ao nível produtivo, onde pode ser observada a relevância da ampla gama de tecnologias e do controlo de qualidade possível dentro de uma organização.

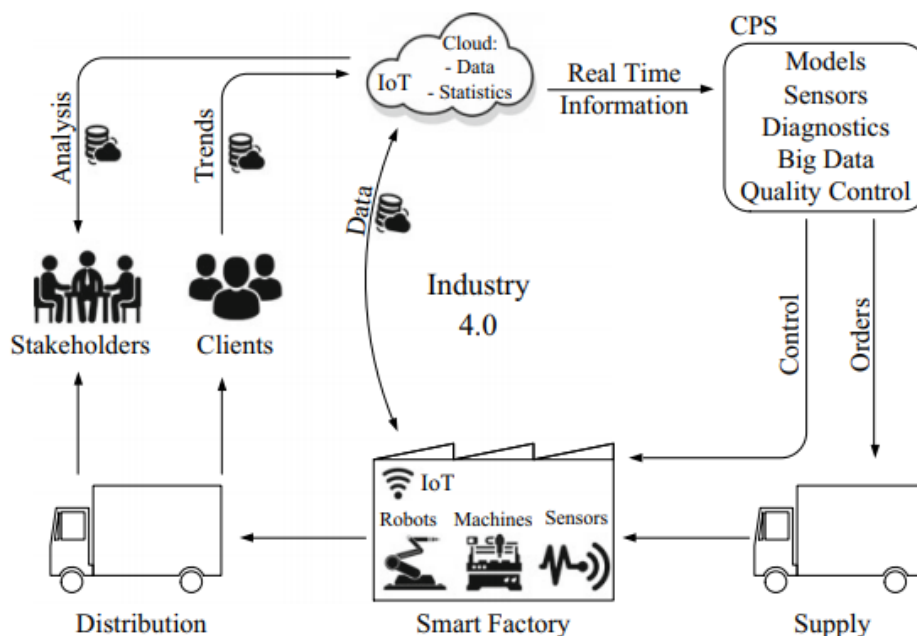


Figura 30-Controlo da Qualidade através de ferramentas tecnológicas da Indústria 4.0 (Reis et al. 2019)

As vantagens que este género de monitorização, em tempo real, apresenta são: a melhoria das atividades de controlo da qualidade e o fornecimento de avisos prévios das mudanças no produto. A ligação à *Internet* também fornece a capacidade de localizar o produto mesmo após a venda, tanto para o cliente como para o fornecedor, principalmente no caso de envio da compra através de uma distribuidora (Lee et al., 2014). Para além disso, é necessário referir que durante o processo de produção, é importante que o tempo de reação dos alertas seja curto o suficiente para permitir a remoção da peça indesejada da cadeia produtiva (Kuzmanić et al., 2015).

Segundo Johnson (2019), a qualidade coloca o foco nos dados necessários para monitorizar o desempenho da qualidade, e isto também inclui os custos de boa e má qualidade, que são uma das grandes preocupações das organizações. O custo da falta de qualidade é evitável, através de alguns investimentos em sistemas de suporte. As tecnologias que permitem um maior controlo das operações e monitorização da qualidade podem resultar em maior lucro, bem como melhores ferramentas de trabalho. Mas, para que haja uma introdução destes sistemas, as empresas têm de ultrapassar, diversos desafios desta aplicação, tais como:

- A ausência de capacidade de processamento da informação, devido à grande quantidade de dados;
- O *feedback* das informações necessárias sobre a qualidade, que muitas das vezes é limitado;
- Um amplo *feedback* em tempo real dos dados relativos à qualidade com uma visualização agradável das condições de qualidade;
- Um estado da qualidade adequado, para que possa ser visualizado pelo operador ou engenheiro;
- As tecnologias do espaço de trabalho, como a informação visual que auxilia o operador, podem não estar corretamente integradas no processo de produção, o que também pode ocorrer com o controlo do processo e o *feedback* da qualidade (Godina et al., 2019).

De acordo com Johnson (2019), o grande objetivo é monitorizar toda a produção para antecipar os problemas de qualidade e analisar os dados para averiguar tendências. Um exemplo deste tipo de controlo é a supervisão de máquinas quanto à vibração, calor ou consumo de energia. Quando o fluxo de informação começa a sair fora do normal, o engenheiro de manutenção deve ser alertado. Outra mais-valia vem das análises avançadas que podem relacionar dados com falhas futuras, após o produto ser utilizado, isto significa que os fabricantes de equipamentos começam a controlar os produtos que

vendem para identificar padrões de comportamentos normais e anormais, para que possam melhorar a compreensão das falhas. Ao identificar a causa raiz da falha de um determinado produto através do acompanhamento das operações, operadores e máquinas envolvidos na produção, faz com que as organizações possam identificar lapsos de produção que podem ser corrigidos ou reduzidos, eliminando futuras reclamações.

Em suma, o controlo da qualidade pode usufruir imenso do novo paradigma industrial, dado que, os engenheiros são capazes de agrupar o máximo de informação possível, obtendo a possibilidade de detetar defeitos de formas que anteriormente não eram possíveis de detetar. Esta mudança também abre portas para a possibilidade de registo e controlo total, o que favorece todas as empresas (Foidl et al., 2016). No passado, a inspeção por amostragem era amplamente utilizada para o controlo estatístico da qualidade. No entanto, na Indústria 4.0, há uma substituição por um tipo de controlo de inspeção total, devido às novas ferramentas tecnológicas. Num futuro próximo, passará a haver uma identificação automática de produtos defeituosos e sistemas automáticos de interrupção de linhas de produção (Hyun Park et al., 2017).

#### **4.5. Como Implementar a Qualidade 4.0**

Para empresas que procuram melhorar o desempenho financeiro e a satisfação do cliente, o caminho mais rápido para o sucesso é a transformação da qualidade. Os problemas da qualidade podem ser encontrados em todos os setores e até mesmo nas melhores empresas, que podem ter pontos fracos nos seus sistemas. Esses problemas podem conduzir à ocorrência de acidentes, falhas ou defeitos nos produtos que prejudicam a reputação das empresas e também criam a necessidade de medidas de prevenção. Os resultados finais geralmente são a baixa satisfação do cliente, que diminui o crescimento da receita, e aumenta os custos (Phil et al., 2021).

Com o aparecimento das tecnologias de informação modernas, ocorreu uma maior facilidade de resolução de problemas relacionados com a qualidade. Este desenvolvimento digital leva a uma mudança de visão sobre a produção. Deixa de haver unidades e dispositivos individuais de controlo, para que haja uma incorporação de sistemas autónomos e robotizados, sendo que, nestes novos sistemas os métodos habituais de qualidade tradicional tornam-se arcaicos e atrasam todo o processo (Vasiliev et al., 2019).

Devido a isto, a implementação da Qualidade 4.0 é o processo de total acompanhamento das atividades de uma organização para entregar valores de qualidade aos clientes na forma de produtos ou serviços. Esta aplicação não é apenas missão ou responsabilidade do departamento da qualidade, mas sim do proprietário da empresa e de todos membros da organização (Lim, 2020). Segundo Antony (2020), os principais ingredientes a ter em conta para uma implementação eficaz são: a liderança, o apoio da gestão de topo, a cultura organizacional, profissionais adequados, as tecnologias, métricas de qualidade e os *Big Data*. Por isso, para que a Qualidade 4.0 seja implementada de forma eficaz, é necessário ter em consideração tanto os aspetos tecnológicos, como os aspetos não tecnológicos. Deste modo, segundo Küpper et al. (2019), as organizações devem ter em consideração os seguintes elementos:

- Dar prioridade aos pontos problemáticos
  - Identificar os pontos problemáticos relativos à qualidade e aplicar soluções digitais.
  - Definir claramente os pontos problemáticos que afetam a organização e os que bloqueiam as oportunidades.
  
- Identificar, testar e ampliar os casos de uso
  - Identificar casos de uso, que representam uma possível utilização de um sistema, para atingir os objetivos e resolver os pontos problemáticos.
  - Implementar PoC (*Proof of Concept*), que é o conceito utilizado para designar um modelo prático, que possa provar um conceito teórico. Em cada PoC, deve existir uma equipa multidisciplinar que utilize métodos de desenvolvimento ágil para obter rapidamente uma solução minimamente viável.
  - As soluções testadas e definidas como sucesso deverão, então, ser lançadas ao nível global da organização.
  
- Desenvolver uma visão e um guia
  - Após a obtenção de resultados iniciais com os testes de PoC, é necessário desenvolver uma visão clara e um guia com foco nos casos mais importantes.
  - Ao definir a visão, deve ser argumentada a importância do conceito de Qualidade 4.0, referindo a estratégia geral para a organização e a contribuição para a criação de uma vantagem competitiva sustentável. Deve-se, portanto, garantir que a qualidade seja uma prioridade da gestão de topo e uma componente importante da estratégia organizacional.

- Estabelecer responsáveis ao nível tecnológico
  - Deve haver uma verificação das tecnologias e dos colaboradores da Qualidade 4.0, para que estes disponham de infraestrutura de IoT e de diversas informações importantes para o sucesso empresarial.
  - Identificar e resolver lacunas nos dados da empresa e prever problemas.
  
- Os profissionais devem desenvolver as competências necessárias
  - Determinar as competências e a escala de recursos necessários para implementar a digitalização e assegurar a utilização a longo prazo.
  - Definir uma estratégia para capacitar os colaboradores ao nível digital, colmatando lapsos na formação e treino.
  
- Gerir mudanças
  - Preparar toda a organização para as mudanças em diversos departamentos.
  - Gerir e supervisionar a implementação de tecnologias digitais e a informação obtida através de dados.
  
- Estimular e divulgar uma boa cultura de qualidade
  - Reconhecer que a tecnologia por si só não alcançará um avanço no desempenho de qualidade, por isso, deve-se promover uma cultura de qualidade.
  - Todos os funcionários da organização devem ser responsáveis pela qualidade.
  - Fazer as alterações necessárias no contexto de trabalho.

A implementação da estratégia digital de uma organização não ocorrerá sem contratempos. Haverá alguns desafios comuns que afetam todos os setores e níveis de maturidade digital (ASQ, 2021f).

De acordo com Miller (2019), para melhorar e aumentar a contribuição da qualidade numa organização, é necessário fazer um investimento nas seguintes ferramentas:

- Ferramentas que permitam a transferência de conhecimento para toda a empresa;

- Ferramentas inteligentes da qualidade, que sirvam como sistema de alerta e de prevenção de algum acontecimento;
- Ferramentas IoT, para uso de dados externos com a intenção de auxiliar a medição do desempenho e eficácia de produtos da organização e produtos similares vendidos pelos concorrentes;
- Plataformas de gestão da qualidade, onde possa haver análise de informação do mercado.

Os investimentos mencionados não só melhoram a qualidade dos produtos e serviços, como também melhoram a qualidade organizacional, a liderança e a cultura organizacional (Miller, 2019).

Deste modo, tanto a Q4.0, como a I4.0 devem ser integradas ao nível estratégico e operacional, com a qualidade a fornecer a metodologia e as ferramentas para impulsionar as mudanças e as melhorias (Fonseca et al., 2021).

#### **4.6. Estado Atual da Qualidade 4.0**

Como foi referido anteriormente, o tópico Qualidade 4.0, é muito recente e portanto, as discussões e a partilha de informações são escassas (Nenadál, 2020). De acordo com Rowlands et al. (2021), as investigações relacionadas com a relação da Indústria 4.0 e a gestão da qualidade são limitadas, embora estes dois conceitos estejam interligados.

Os termos transformação digital, Indústria 4.0 e Qualidade 4.0 estão sempre associados. Uma estratégia de Qualidade 4.0 é também uma estratégia de I4.0 e de transformação digital, onde as metas de qualidade e desempenho são cruciais. Enquanto que a I4.0 é limitada à utilização ferramentas tecnológicas, a Qualidade 4.0 não se limita apenas à digitalização e integra também todas as pessoas, setores e departamentos (Radziwill, 2020). O movimento Qualidade 4.0, juntamente com a globalização, mudanças de conformidade e pressões para operar com mais eficiência, impulsionam a transformação. Além disso, oferece um grande potencial de melhoria para as empresas, embora muitas ainda estejam a descobrir novas maneiras de estimular esta iniciativa (Jovanis et al., 2020).

Segundo um estudo efetuado pela *LNS Research*, em fevereiro de 2019, relacionado com a Qualidade 4.0, verificou-se que cerca de 48% das empresas que implementaram, estão atualmente a implementar ou planeiam implementar a Qualidade 4.0. Infelizmente, como se pode verificar na Figura 31, apenas 17% das empresas que participaram no

estudo, já implementaram a Qualidade 4.0, isto significa que há um longo caminho a percorrer, e que de facto, ainda existem cerca de 52% das organizações que não tem qualquer tipo de investimento ou planos para a implementar esta prática (Comstock, 2019). O que tem faltado é um foco na qualidade e a importância do papel das técnicas relacionadas com o conceito, ou seja, ao alterar a ênfase no conceito da Indústria 4.0 para a qualidade, por meio do tópico Qualidade 4.0, há uma oportunidade de projetar a qualidade nos sistemas e processos, em vez de vê-la como um acréscimo (Rowlands et al., 2021).

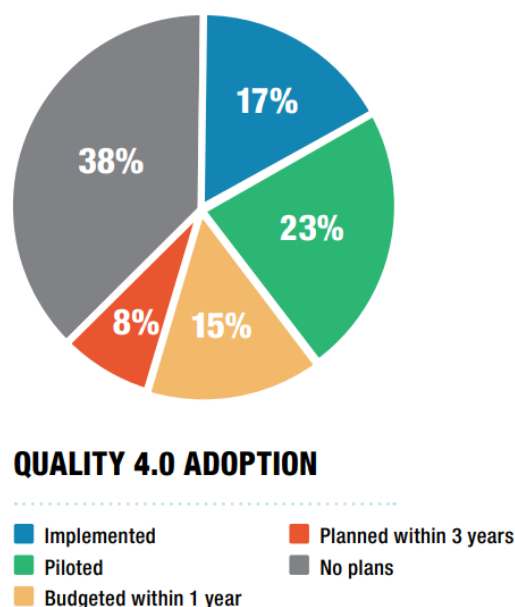


Figura 31-Nível de adoção da Qualidade 4.0 (Comstock, 2019)

Segundo outro estudo mundial, denominado “Quality 4.0 Takes More Than Technology”, realizado pelas organizações *Boston Consulting Group*, a *American Society for Quality* e a *Deutsche Gesellschaft für Qualität*, em que participaram 221 empresas de 18 indústrias distintas, com o objetivo de entender melhor o papel da tecnologia na transformação da gestão da qualidade, verificou-se que os resultados são parecidos ao estudo realizado pela *LNS Research*. Esta análise focou-se nas oportunidades, nos desafios e nas tecnologias comuns relacionados com a qualidade e como melhorar as práticas tradicionais de gestão da qualidade (Kupper et al., 2019).

De acordo com esta abordagem, quase dois terços dos fabricantes acreditam que a Qualidade 4.0 afetará significativamente as suas operações nos próximos cinco anos. No entanto, na Figura 32 é exposto que, apenas 16% afirmam que a empresa já iniciou a implementação das práticas da Qualidade 4.0 e 63% nem sequer atingiu a fase de

planeamento. Além disso, o estudo também revela que as empresas europeias começaram, mais rápido, a adoção, com 21%, em comparação com apenas 6% das empresas americanas. Resumindo, muitas dessas organizações carecem de uma cultura de qualidade necessária para tornar a Qualidade 4.0 uma realidade, como se pode observar pela amostra da pesquisa. Sintetizando, o início da implementação é lento e escasso (Kupper et al., 2019).

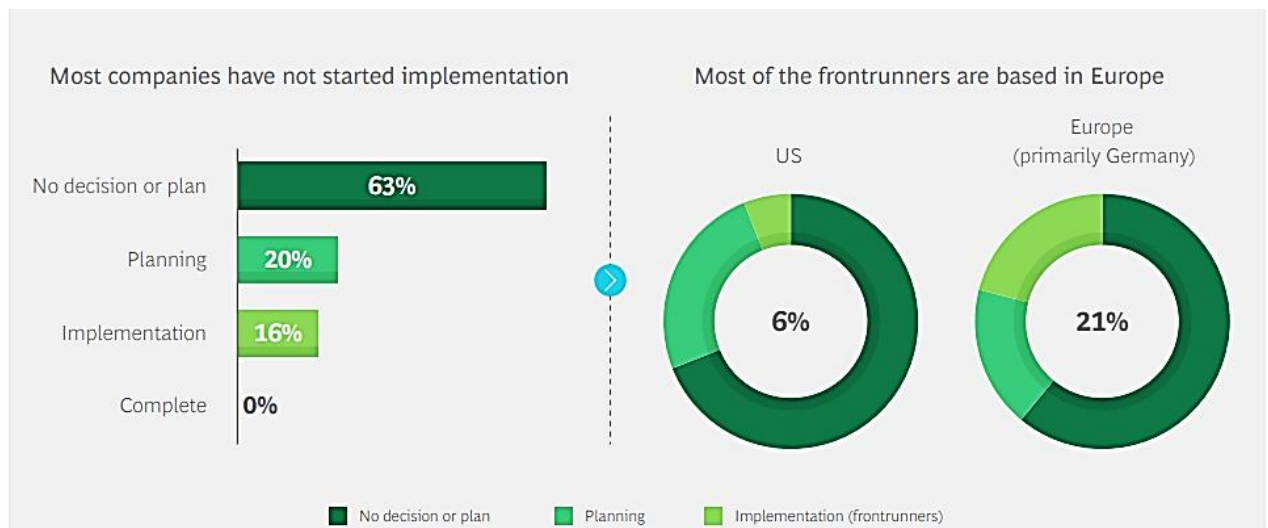


Figura 32-Atualidade da implementação da Qualidade 4.0 (Kupper et al., 2019)

Embora as empresas reconheçam que a aplicação da Qualidade 4.0 pode criar valor substancial, apenas algumas definiram uma estratégia detalhada e já lançaram um programa de implementação. O sucesso da Qualidade 4.0 só pode ser alcançado com uma abordagem multifacetada, que além das questões tecnológicas, também inclui uma gama completa de práticas estratégicas e culturais (Kupper et al., 2019).

Os principais desafios identificados, para a falta de implementação da Qualidade 4.0, de acordo com o mesmo estudo, são as lacunas no talento das aptidões ao nível digital, que é apresentado na Figura 33. A escassez de talentos ao nível do *software*, bem como a de especialização em qualidade, é um desafio do setor, mas pode ser superado. As empresas que não conseguem encontrar as habilitações de que necessitam na sua força de trabalho, podem investir na capacitação e formação dos funcionários, apoiar trabalhadores com as aptidões já adquiridas para treinar a equipa existente, construir uma excelente cultura da qualidade e trabalhar junto com parceiros estratégicos para obter as tecnologias apropriadas (Kupper et al., 2019).

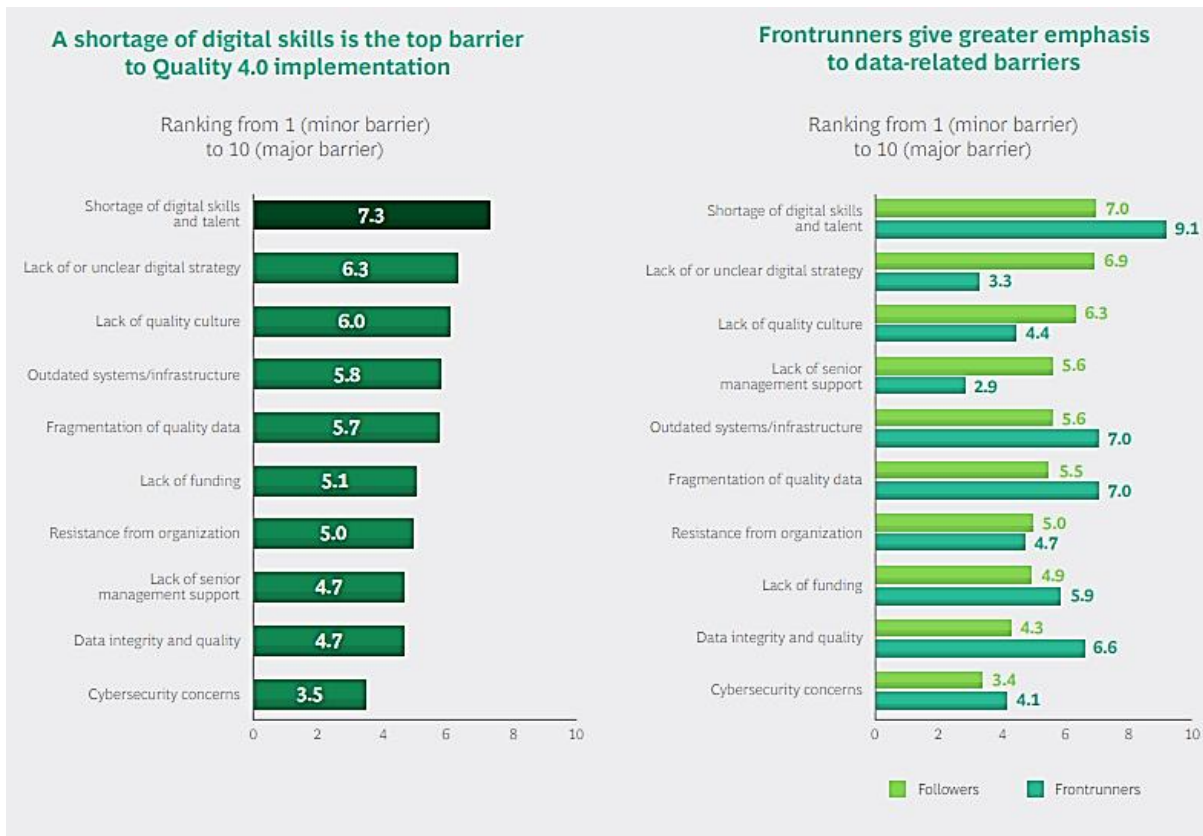


Figura 33-Maiores desafios da implementação da Qualidade 4.0 (Kupper et al., 2019)

Claramente, os esforços para melhorar a gestão da qualidade estão num estágio inicial, e ainda há muito trabalho a ser feito para ganhar a importante adesão da gestão de topo e a ampla aceitação nos diversos setores (Finn, 2019).

Desta forma, o sucesso da Qualidade 4.0 depende muito das pessoas. Para superar os desafios, as empresas devem trabalhar para fomentar uma cultura de qualidade que garanta que cada funcionário entenda a importância do seu papel na manutenção da excelência e na capacidade de mantê-la sem esforço. O caminho para a Qualidade 4.0 está rodeado de tecnologias inovadoras, processos e pessoas empenhadas no sucesso organizacional. As empresas que a adotam, são recompensadas com uma posição superior no mercado, maior valorização, reconhecimento da marca, maior satisfação do cliente, tudo devido à maior eficiência, à diminuição de defeitos dos produtos e aos custos reduzidos (Isacson, 2020a).

#### 4.7. Benefícios da Implementação da Qualidade 4.0

A Qualidade 4.0 é a mais recente iniciativa para as empresas que procuram melhorar a eficiência operacional e a qualidade do produto através da tecnologia digital (Finn,

2019). Embora as mudanças tecnológicas tenham contribuído para a gestão da qualidade, esta também oferece às empresas uma oportunidade de se redefinir e tornar qualquer organização no líder de mercado. Em muitos dos setores, os padrões de qualidade permaneceram inalterados e essas empresas que antes conseguiam manter uma posição como líderes de mercado deixam de o ser, devido às alterações do ambiente, dos novos padrões e do aumento das exigências dos clientes (Kearney, 2021). Transformar a gestão da qualidade é essencial para enfrentar os principais desafios apresentados pelas mudanças nos mercados globais e tecnologias disruptivas (Finn, 2019).

Neste tópico são discutidas as vantagens e a importância da estratégia da Qualidade 4.0. Posto isto, as tecnologias podem garantir a transparência e contruir credibilidade, o que por sua vez faz com que haja um ambiente de interação total, logo há uma melhoria e um aumento da eficácia nas organizações (Emblemsvåg, 2020), ou seja, enquanto o ambiente da Indústria 4.0 oferece o potencial para melhorar a qualidade dos produtos produzidos, este não é um benefício automático e é necessário dar atenção também à gestão da qualidade e aos aspetos relacionados com o conceito para perceber todos os benefícios dos avanços da tecnologia (Rowlands et al., 2021). As empresa que se esforçam para aplicar e se destacarem nas tecnologias, qualidade, operações, sistemas de informação e processos, criam vantagens competitivas (Asif, 2020).

As tendências da transformação digital ajudam a definir uma estratégia de Qualidade 4.0, que elimina a dependência de processos baseados em abordagens de registo no papel, o que proporciona o afastamento de sistemas manuais, reduzindo erros (Reedy, 2019), isto significa, que todos os benefícios dos avanços tecnológicos só podem ser realizados por meio de sistemas de gestão robustos e de foco claro na qualidade (Rowlands et al., 2021). Na Figura 34, é apresentado um esquema com exemplos de possíveis melhorias proporcionadas através da aplicação da Qualidade 4.0.

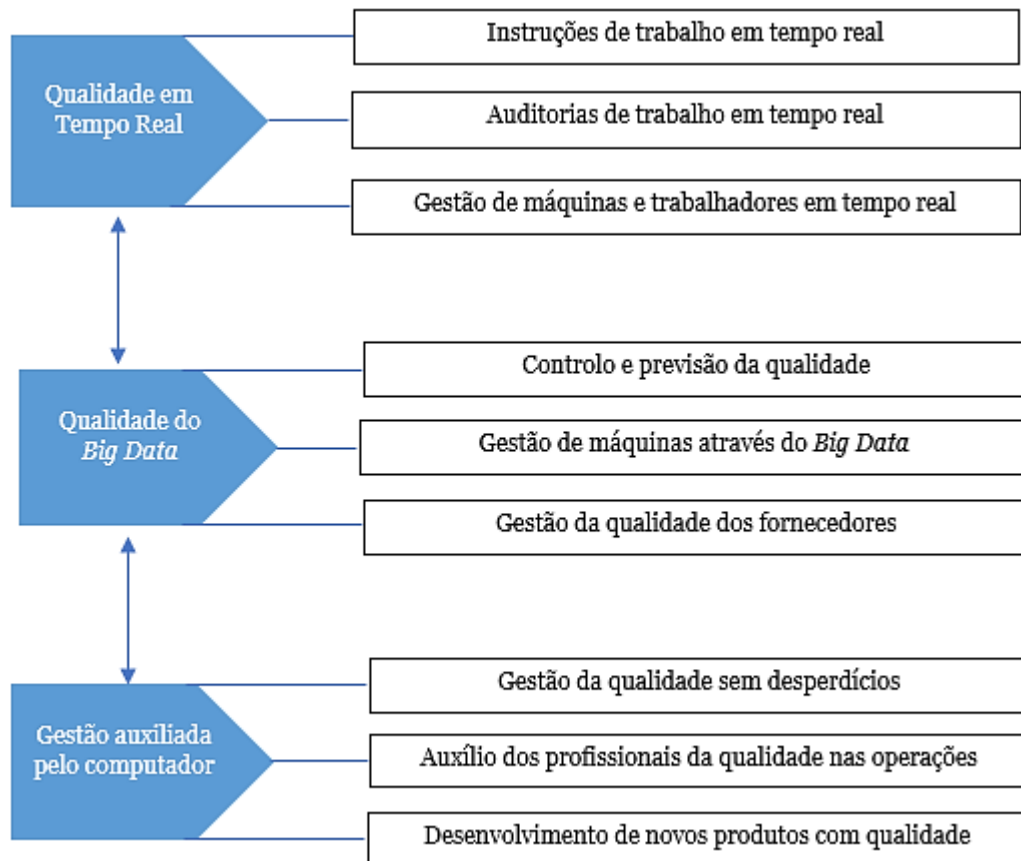


Figura 34-Aplicação da Qualidade 4.0 na Indústria (Adaptado de Lim, 2020)

As iniciativas de Qualidade 4.0 podem aumentar a inteligência humana, melhorar o processo de tomada de decisões, melhorar a rastreabilidade e a transparência das operações, antecipar mudanças, adaptar as empresas a novas circunstâncias e evidenciar oportunidades (Radziwill, 2020). Portanto, é uma técnica poderosa para controlar, gerir, analisar e melhorar o desempenho de processos e produtos, eliminando as causas de variações, erros do operador, erros de medição, uso de matéria-prima inadequada, etc. (Abtew et al., 2018).

De acordo com Radziwill (2018), existem seis categorias, às quais a Q4.0 acrescenta valor e proporciona benefícios, que são:

- Melhoria da inteligência humana;
- Aumento da velocidade e da qualidade das decisões;
- Melhoria da transparência em toda a cadeia produtiva e do acompanhamento dos produtos;
- Antecipação das mudanças e adaptação às novas circunstâncias;
- Envolvimento das organizações, oportunidades de melhoria contínua e novos modelos de negócios;

- Melhoria da autoconsciência.

Uma das grandes vantagens associada a este novo conceito de qualidade é a gestão em tempo real, que proporciona uma melhor controlo de todo o processo produtivo, como referido anteriormente (Aleksandrova et al., 2019). Além disso, os sistemas de qualidade modernos podem reduzir o risco, identificando problemas da qualidade com mais rapidez e, ao mesmo tempo, reduzindo os custos e os *stocks* (Jovanis et al., 2020).

Segundo Comstock (2019), os produtores que incentivam as iniciativas de Qualidade 4.0 têm vantagens, tais com: melhoria da qualidade, diminuição de custos, aumento da eficiência, participação no mercado e reconhecimento da marca, a redução do tempo de transações, eliminação de erros manuais e simplificação da comunicação. O sistema de execução automatizada da Qualidade 4.0 engloba um entrega mais rápida, sistemas de autodiagnóstico e autocorreção, modelos operacionais otimizado e melhoria da qualidade nos processos (Sreenivasan, 2021).

Portanto, a Qualidade 4.0 não afeta apenas as coisas que acontecem dentro de uma fábrica, ela abrange toda a cadeia organizacional, desde a investigação e desenvolvimento (I&D), à produção, logística e às vendas, aos serviços e pós-venda, entre outros, que serão expostos a seguir:

- I&D: ao alterar as metodologias do desenvolvimento de produtos/projetos, as organizações podem economizar tempo, esforço e dinheiro. A iniciativa tem sucesso caso tenha três componentes: um plano de mudança bem elaborado para promover a adesão organizacional, suporte da gestão de topo e assistência externa na estruturação das capacidades necessárias para a organização;
- Produção: a qualidade, o controlo da qualidade e os procedimentos operacionais digitais são importantíssimos para a produção. As ferramentas da I4.0 fornecem às organizações um poder sem precedentes para analisar grandes quantidades de dados e descobrir *insights*. Estes *insights* permitem que as empresas abordem as causas raiz dos problemas de forma preventiva, ou seja, antes que ocorram problemas de qualidade, isto significa que em comparação com os processos de inspeção manual, as tecnologias são mais baratas e mais eficazes;
- Logística e vendas: ao aplicar os *Big Data*, as empresas podem melhorar a capacidade de prever o volume de produção necessário e melhorar a qualidade

dos serviços. Estes benefícios são originados através da acessibilidade aos dados e do uso de tecnologias para apoiar o processamento de informação;

- Serviços e pós-venda: os equipamentos de produção podem comunicar informações sobre a sua condição, em tempo real através da IoT. Ao analisar os dados, as organizações originam *insights* que servem como um alerta antecipado de possíveis falhas relacionadas com a qualidade do produto e que podem desencadear custos. Para além disso, as empresas também podem otimizar o apoio ao cliente, a partir do diagnóstico remoto de problemas relacionados com os seus produtos;
- Compras: as empresas podem utilizar dados sobre o desempenho do fornecedor para avaliar os riscos e as oportunidades da qualidade no abastecimento de matéria-prima. Estes dados também podem ser aproveitados para negociar o custo da aquisição de material, impulsionando melhores resultados financeiros;
- *Cross-Functional*: é um sistema de Gestão da Qualidade ponta a ponta e a transparência de todos os custos da qualidade. Uma empresa deve combinar conjuntos de dados de várias funções para obter *insights* e abordar pontos críticos em toda a organização (Kupper et al., 2019).

Na Figura 35, são expostas as seis aplicações do conceito, tal como alguns benefícios para os diversos departamentos das organizações.

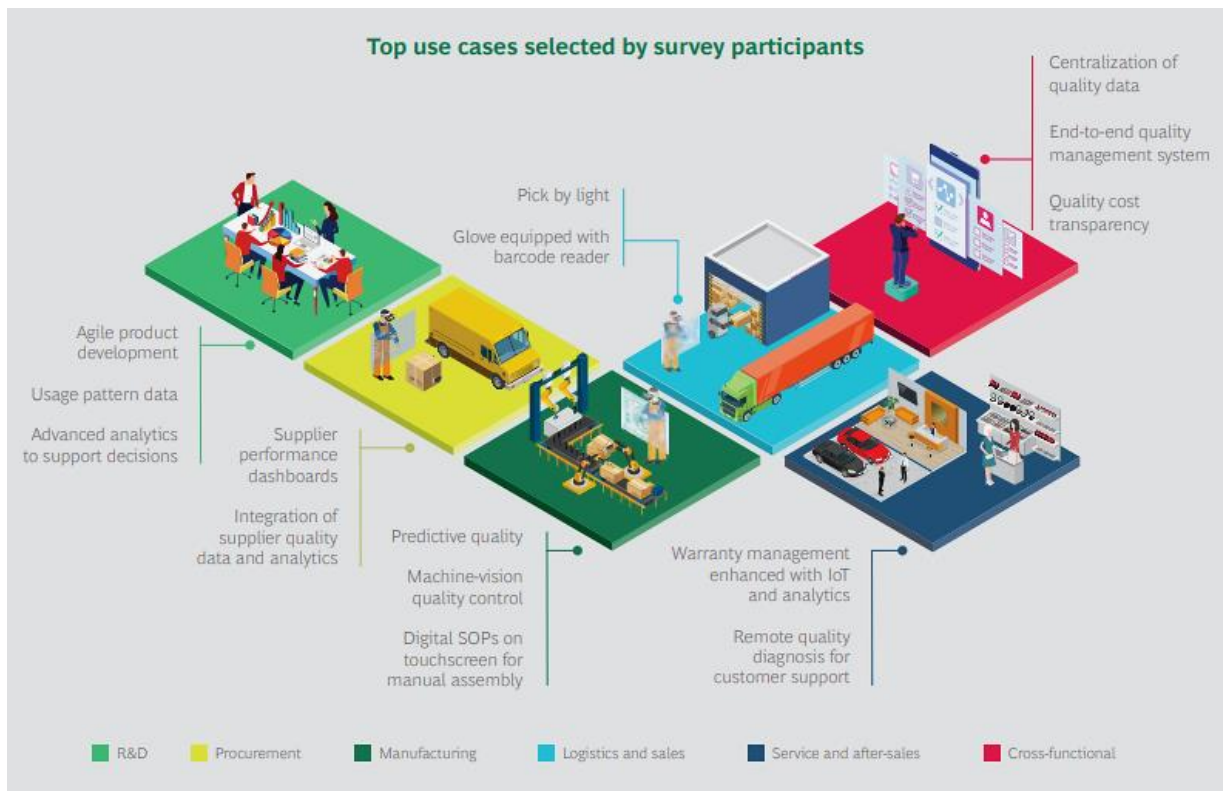


Figura 35-Aplicações da Qualidade 4.0 em diversos departamentos (Kupper et al., 2019)

Conclui-se que o objetivo final destas mudanças é permitir que as instalações industriais produzam melhores produtos a um custo menor e aumentem a adaptabilidade, agilizando a resposta às mudanças das exigências do consumidor, diminuindo o tempo de processamento e alcançando maior competitividade (Tomic, 2020). O foco na melhoria é necessário para obter benefícios e desenvolvimentos positivos na Indústria 4.0, onde a tecnologia por si só não produzirá vantagens competitivas (Rowlands et al., 2021).

Para além disso, e de acordo com o autor Evans (2013), as atividades de controlo, planeamento e melhoria contínua, na era da I 4.0 pretendem:

- Alcançar a conformidade;
- Satisfazer os requisitos e as especificações das partes interessadas;
- Reduzir e prevenir defeitos;
- Reduzir o desperdício;
- Eliminar atividades que não acrescentam valor para a organização;
- Prevenir o erro humano;
- Melhorar a produtividade;
- Melhorar a eficiência;
- Melhorar a experiência do cliente;

- Estimular a inovação.

Assim sendo, para alcançar o sucesso, de forma consistente, a qualidade deve ser uma prioridade organizacional, não um conjunto de políticas ou regras, mas sim uma ferramenta de melhoria. Quando a qualidade integra todos os departamentos, como o *marketing*, design, desenvolvimento, operações, interações com o cliente, entre outros, há diversos benefícios, como por exemplo: clientes leais, eliminação de desperdício, economizar tempo e dinheiro, preços competitivos, aumento dos lucros, melhor reputação organizacional e melhoria da imagem de marca (Evans et al., 2015).

Pode concluir-se, que os avanços impulsionados pela digitalização tem vários benefícios e criam expectativas para toda a comunidade da qualidade (ICQEM20, 2020). A Qualidade 4.0 deve ser integrada em todas as etapas do ciclo de vida do produto, já que os problemas podem aparecer em qualquer lugar, ao longo de todo o processo, desde o projeto, até ao fabrico, envio e distribuição do produto (Isaacson, 2020b).

#### **4.8. Qualidade, Inovação e Tecnologias**

Atualmente, muitas empresas, no mundo, preocupam-se com o desenvolvimento de produtos e serviços inovadores, mas acima de tudo com a qualidade. Para produzir efetivamente os resultados desejados, a inovação precisa de cruzar as fronteiras e ir além da oferta de novas tecnologias, de novos processos ou modelos de negócio (Almeida et al., 2016).

De acordo com Huang et al. (2016), inovar sem qualidade poderá conduzir as organizações a resultados efémeros, visto que, a qualidade é a base para o alcance de vantagens competitivas. Aliás, hoje em dia, estes dois conceitos completam-se e permitem que as empresas atinjam o seu potencial máximo (ICQEM20, 2020). Assim sendo, a relação entre a qualidade e a inovação é fundamental para os sucessos das organizações (Qualidade & Inovação, 2021).

Ter maior facilidade para inovar ajuda as empresas no percurso de mudança, melhorando assim o desempenho organizacional. O incentivo para a produção de produtos inovadores, processos de qualidade ou serviços pode beneficiar das novas inovações tecnológicas, visto que, proporcionam uma melhoria de todas as operações de fabrico e uma redução de custos da produção no geral (Leal-Rodríguez et al., 2014). Assim como a qualidade, a inovação é indispensável para as organizações contemporâneas. A criação de tecnologia para uma organização e a capacidade de

identificar, compartilhar e aplicar o conhecimento afetam diretamente as vantagens competitivas (Alavi et al., 2001).

Segundo Zairi (1996), os fatores críticos para uma gestão de inovação bem-sucedida incluem e estão relacionados com a gestão da qualidade. O estímulo de todas as organizações, para obter vantagens competitivas, é explorar as oportunidades proporcionadas pelos clientes, oferecendo entregas e produtos de forma mais rápida, eficaz e economicamente viável. A inovação na economia atual está relacionada com todos os impactos na satisfação, nas necessidades do cliente e agregação de valor às tecnologias, produtos e serviços oferecidos aos consumidores. Isto demonstra, que a inovação num ambiente moderno está relacionada com a capacidade da organização fornecer a mais elevada qualidade, ou seja, a empresa poderá diferenciar-se das outras através de um produto ou serviço original.

Portanto, é plausível dizer que existem três fatores que influenciam o desempenho organizacional, e ele são: a qualidade, a inovação e as tecnologias (Huang et al., 2016) (Figura 36). De acordo com ICQEM20 (2020), é possível afirmar que a relação entre estes três conceitos é vista como:

- Uma maior eficácia e eficiência para as organizações;
- Facilidade de produção com um número escasso de defeitos;
- Evolução do nível de produtos e processos de produção;
- A qualidade é a área que pode interligar todas as áreas;
- A inovação é a base da tecnologia, e estas duas áreas vão além das necessidades dos clientes, através da implementação de sistemas de gestão de qualidade.



Figura 36-Fatores que influenciam o Desempenho Organizacional (Adaptado de Huang et al., 2016)

A inovação, as tecnologias e a qualidade formam, assim, grande parte das restrições organizacionais, dado que, podem ampliar ou diminuir as atividades setoriais (Malerba,

2003). Certas tecnologias utilizadas em grandes empresas, podem mesmo realizar a maior parte das atividades inovadoras (Malerba et al., 1996), e ajudar a qualidade a ganhar maior destaque na Indústria 4.0 (Carvalho et al., 2021). Os três conceitos impulsionam a competitividade, o empreendedorismo e desempenham um papel cada vez mais importante nas sociedades modernas e nas organizações. No futuro vão evoluir, estimuladas pela mudança tecnológica, que possibilita a escolha de novas direções, a abordagem de novas realidades e a concretização dos objetivos organizacionais (Sampaio et al., 2016).

Segundo Rajagopal et al. (2020), o crescimento contínuo da inovação e das tecnologias é o principal estímulo para as empresas ganharem diferenciação competitiva, liderança nos mercados globais, reconhecimento da marca e maior qualidade de produtos e serviços, proporcionando aos consumidores produtos distintos e revolucionários.

A Tabela 13, pretende ajudar as organizações a entenderem quais as inovações tecnológicas que devem aplicar para a introdução de diferentes práticas de Gestão de Qualidade, de maneira a utilizar a informação disponível, a favor dos processos, reduzindo, assim, o tempo de procura das melhores tecnologias/ferramentas adequadas a cada prática de qualidade (Carvalho et al., 2021).

Tabela 13-Práticas de Gestão de Qualidade e o relacionamento com a inovação das tecnologias da Indústria 4.0 (Adaptado de Carvalho et al., 2021)

| Ferramentas e tecnologias da I4.0   | Práticas de Gestão de Qualidade |                           |                               |                               |                          |                     |                               |                         |
|---|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------|
|   | Compromisso da Gestão           | Interação com os Clientes | Interação com os Fornecedores | Interação com os Funcionários | Técnicas de Benchmarking | Gestão de processos | Informação e análise de dados | Planeamento estratégico |
| Ciências dos dados e estatísticas   | X                               |                           |                               |                               |                          | X                   | X                             | X                       |
| <i>Enabling technologies</i> (IoT, Sistemas Integrados, Realidade Aumentada e Virtual, Cloud) | X                               | X                         | X                             | X                             | X                        | X                   | X                             | X                       |
| Big Data  | X                               | X                         | X                             |                               |                          | X                   | X                             |                         |
| Blockchain  | X                               |                           |                               | X                             |                          | X                   |                               | X                       |
| Artificial Intelligence   | X                               |                           |                               | X                             |                          |                     | X                             |                         |
| Machine Learning  | X                               |                           |                               |                               |                          |                     | X                             | X                       |
| Redes Neurais e Deep Learning   | X                               |                           |                               |                               |                          | X                   | X                             |                         |

Face ao referido anteriormente, é possível dizer que ter infraestruturas inovadoras e adequadas é crucial para a capacidade de adotar práticas de Qualidade 4.0. Isto requer

um ambiente de produção com total ligação e inovação tecnológica para permitir a aquisição e análise de dados. As IT devem apoiar e habilitar todas as atualizações necessárias, garantindo que as políticas de segurança e o acesso adequado sejam praticados (Escobar et al., 2021).

Resumindo, tanto a inovação como as tecnologias, estão cada vez mais presentes no universo da qualidade, nomeadamente ao nível dos processos, produtos e serviços, sem deixar de parte a satisfação dos clientes. Devido às mudanças progressivamente crescentes e à inconstância dos mercados, as organizações precisam de se manter criativas e com a melhor qualidade de produtos/serviços para que possam sobreviver. Assim, os três tópicos, qualidade, inovação e tecnologias são aspetos cruciais para o funcionamento de qualquer organização no mundo moderno, capazes de enfrentar a competitividade, instabilidade e as exigências (ICQEM20, 2020).

#### **4.9. O Perfil do Novo Profissional da Qualidade**

O representante e os funcionários da qualidade são membros que estão integrados na organização, mas na maioria dos casos, não existe qualquer tipo de envolvimento destes profissionais nos processos de liderança. Como consequência, a gestão e a consciencialização da qualidade podem ser apontadas como fatores de sucesso negligenciados, impedindo a excelência empresarial (Hernandez et al., 2018).

A Qualidade 4.0 oferece oportunidades únicas para os profissionais da qualidade. Enquanto a Indústria 4.0 adota a automatização e as ferramentas tecnológicas, como o *Big Data*, a *cyber* segurança, a Realidade Aumentada, as simulações etc., que são questões das IT. A Qualidade 4.0 reconhece os desafios do mercado, que são as questões organizacionais, por exemplo, quando se trata dos *Big Data*, os departamentos de IT geralmente são os responsáveis por esta análise da informação. No entanto, os profissionais da qualidade são especialistas na gestão de processos e têm as competências necessárias para determinar os dados que devem ser utilizados. É o profissional da qualidade, não o profissional de IT, que deve guiar as organizações/colaboradores através das mudanças de paradigmas e de sistemas (Quality Magazine, 2018). Isto significa, que a Qualidade 4.0 oferece ao departamento da qualidade a oportunidade de se envolver diretamente em toda a organização e partes interessadas, e deve aproveitar a informação recolhida pelo departamento de IT, sobre a experiência e satisfação do cliente, bem como do processo produtivo, para tornar o núcleo da organização da qualidade mais forte, originando melhores resultados, redução

de custos, melhoria da qualidade e a experiência do cliente, garantindo um estatuto superior à organização (Comstock, 2019).

Neste cenário, os profissionais destas áreas precisam de ser reconduzidos como os donos da mudança, especialista em gestão de processos e no uso das informações. As oportunidades para os profissionais da qualidade são gigantescas e únicas (ASQ, 2018) e fazem com que os profissionais desempenhem um papel vital para o sucesso da organização onde se encontram inseridos (Jacob, 2018b).

A tecnologia também é um grande nivelador, porque dá a qualquer indivíduo as capacidades de usar a informação para projetar o futuro do mercado e da organização. Portanto, os profissionais da qualidade devem ter a competências de analista de dados, envolvendo-se com as novas tecnologias, de modo a entender os avanços na inovação, tal como, os resultados potenciais que podem criar a partir das novas ferramentas da I4.0 e determinar como e quando usá-las (ASQ, 2021e).

Logo, o profissional da qualidade deve apoiar-se na ciência de dados (Zonnenshain et al., 2020). Segundo Hyun Park et al. (2017), os especialistas da qualidade e os analistas de dados, futuramente, irão fundir-se numa só profissão, elevando assim a qualidade a todos os níveis organizacionais e proporcionando maior relevância e poder a esta profissão.

A visibilidade do mercado nunca foi tão ampla, mas isto só cria oportunidades para as empresas que estão preparadas, sendo que, também cria riscos para as organizações que demoram a agir. Os líderes de qualidade devem “abraçar” as mudanças do mercado e usá-las para fomentar o diálogo com os membros da gestão de topo e até com os próprios colegas sobre o novo papel da qualidade, de forma a sustentar o crescimento e a sustentabilidade económica (Jacob, 2018b). Os líderes da Qualidade 4.0 terão de ser fortes, criativos e inovadores, para que, os membros da gestão de topo entendam a importância deste conceito. Para além disso, este tipo de profissional também poderá ajudar a garantir se a política e os objetivos da Qualidade 4.0, estão bem implementados e se são compatíveis com o contexto e a direção estratégica da organização (Sony et al., 2020). Por isso, os profissionais da qualidade devem ser reposicionados dentro das empresas, de modo a ocuparem cargos de elevada importância (Quality Magazine, 2018).

Os responsáveis desta área já possuem diversas competências e capacidades para lidar com esta transformação, nomeadamente:

- Tomada de decisão baseada nos dados;
- Liderança organizacional;
- Definição de processos e gestão da melhoria contínua;
- Compreensão dos processos, políticas e decisões que afetam as pessoas, bem como as respectivas vidas, relacionamentos, comunidades, bem-estar, saúde e a sociedade em geral (Radziwill, 2020).

Segundo Zonnenshain et al. (2020), os gestores da qualidade devem formar equipas com um número significativo de profissionais criativos, de modo a ter um grupo inovador, com membros atentos aos detalhes e com baixa tolerância a riscos e erros. Na era da Quarta Revolução Industrial, onde a inovação é uma obrigação para o sucesso de qualquer organização, a integração deste tipo de equipas é uma mais-valia. Os gestores da qualidade e os respetivos especialistas, também devem estar bem informados sobre as novas tendências e os desenvolvimentos no ambiente de gestão da qualidade e da tecnologia. Ou seja, a Indústria 4.0 e a Qualidade 4.0 devem ser conceitos bem conhecidos por cada funcionário integrante do departamento. Aliás, este grupo de pessoas deve estar bem orientado e necessita de ter uma forte comunicação dentro e fora do departamento da qualidade, de modo a sensibilizar a gestão de topo para a importância, influência e benefícios da Qualidade 4.0 (Piazolo et al., 2017).

É uma nova fase para os profissionais da qualidade, pois passam a gerir a organização com as ferramentas digitais. Mas, para que isto aconteça sem adversidades é necessário entender como aplicá-las e interpretar os diversos resultados obtidos, com a finalidade de alcançar a excelência através da qualidade. Ao falar a linguagem digital e defender a qualidade, os especialistas podem elevar esta função, orientando com sucesso as organizações, em direção à excelência (ASQ, 2021f).

É, então, possível afirmar que a qualidade nunca foi tão crucial para o sucesso das organizações, no entanto, para que as empresas tenham êxito neste novo tipo de mercado, é necessário que os profissionais da qualidade:

- Superarem os desafios de longa data;
- Cultivem, alcancem e utilizem características multifuncionais;
- Adotem as práticas organizacionais e tecnológicas corretas para estimular a qualidade em toda a organização;
- Identifiquem onde a qualidade agrega valor;
- Compreendam a transformação digital e assumam um papel de liderança no Ciclo de Inovação Digital (Jacob, 2018b).

Os profissionais da qualidade são naturalmente bons na resolução de problemas, na tomada de decisões baseadas nos dados e nas mudanças culturais, na era da Q4.0 esses fundamentos não se alteram, mas tornam-se mais importantes. E, além do referido, estes especialistas passam a ter capacidade para antecipar os impactos negativos e positivos, tal como as consequências das mudanças (Radziwill, 2020).

De acordo com Lasrado et al. (2019), é recomendado aos novos profissionais da qualidade que:

- Sejam uma força positiva na organização;
- Acreditem na esperança da melhoria organizacional;
- Se adaptem às mudanças;
- Desenvolvam capacidades analíticas e de resolução de problemas;
- Desenvolvam a capacidade de interpretar dados e usar ferramentas estatísticas, através das novas tecnologias;
- Adquiram melhores aptidões de comunicação;
- Adquiram competências de planeamento e gestão de projetos;
- Obtenham o conhecimento adequado dos padrões de qualidade e processos.

Os responsáveis deste departamento não podem esperar simplesmente por analisar o mercado e adaptar-se às suas necessidades. Dada a velocidade, imprevisibilidade e variedade de opções disponíveis, devem ser proativos, explorando e encontrando novos alvos e oportunidades. Isso levará a uma expansão de horizontes e manterá o campo da qualidade relevante, ajudando também a mitigar o risco de perda de áreas de atuação para os profissionais (Saraiva, 2017).

A estratégia de Qualidade 4.0, requer uma base que consiste no desenvolvimento das habilidades sociais e humanas, na atração de pessoas com o talento adequado e a criação de uma cultura organizacional baseada na qualidade. A comunicação, trabalho em equipa, gestão de processos e mudanças, são aptidões particularmente importantes e que nunca devem ser esquecidas (Alcayaga et al., 2020). Os profissionais da qualidade precisam de ser assertivos, persistentes e crentes na transformação organizacional. Devem ser pacientes e manter o vigor para alcançar a excelência, já que a busca pela qualidade é uma jornada sem fim (Lasrado et al., 2019).

## 4.10. Qualidade da Informação

A transformação global vigente na atualidade, movida pela tecnologia, encontra-se em constante desenvolvimento. O aumento mundial da ligação digital, à escala global dos serviços de comunicação altamente personalizados e os avanços na análise de dados unificam-se para criar mudanças. Neste mundo em rede, as pessoas, objetos e conexões produzem dados, tanto de forma ativa como passiva, a uma taxa sem precedentes (World Economic Forum, 2021).

Assim sendo, a qualidade dos dados é cada vez mais importante num universo movido pela informação. Muitos acreditam que essa capacidade deve ser vista da mesma forma que os outros ativos da organização, como por exemplo as pessoas, infraestrutura e matérias-primas. Este processo de pensamento levou à necessidade de gerir dados nas organizações de forma disciplinada, com a finalidade de obter *insights* significativos, conduzindo as organizações à excelência (Jugulum, 2019).

Os dados facilitam, mas também dificultam o período da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0. Na era digital, a alta qualidade dos dados forma a base de todos os processos operacionais e estratégicos sólidos. A boa qualidade é fundamental para fornecer um excelente atendimento do cliente, ter operações eficientes, garantir a conformidade com os requisitos regulamentares, melhorar a tomada de decisão e conduzir eficazmente ao planeamento estratégico. As informações e a análise das mesmas, devem ser utilizadas e geridas de forma eficiente, pois ajudam a tomar decisões mais coerentes, a fim de, originar melhorias na organização e nas partes interessadas (Mahanti, 2019).

Segundo Mahanti (2019), embora os dados sejam uma fonte de informação, conhecimento, e uma oportunidade de melhoria, a falta de qualidade da informação pode apresentar problemas. A má qualidade dos dados leva a diversos efeitos negativos como por exemplo, o aumento de custos, a insatisfação dos clientes, à desconfiança organizacional e à redução de lucros (Eppler, 2003), isto significa que a informação sem qualidade é a principal causa de falhas das organizações para atender aos objetivos e às expectativas do cliente (Comstock, 2019).

Além disso, os *Big Data* oferecem à qualidade um elevado potencial de projetos, aprendizagem e flexibilidade de sistemas (Zonnenshain et al., 2020). De acordo com Akter et al. (2016), a qualidade moderna trata de reunir *insights* de grandes quantidades de dados, com o intuito de obter previsões precisas para melhor compreender as necessidades dos clientes, as alterações do mercado onde atuam, e até mesmo as

melhorias necessárias no processo produtivo. Dentro das organizações, a análise das partes interessadas contem uma grande quantidade de informações altamente valiosas, tais como: o desempenho dos fornecedores, os testes dos produtos, a capacidade de fornecer parâmetros críticos, as reclamações dos clientes, e por aí em diante (Jacob, 2018b). Os líderes de qualidade devem harmonizar, utilizar, partilhar e analisar dados, visto que, toda a informação estará disponível em tempo real e de diversas fontes em simultâneo, para que haja uma melhoria constante nas organizações. Deste modo, esses dados devem ser utilizados para permitir decisões rápidas e com precisão (Miller, 2019). Na Figura 37, encontra-se representado um esquema que pretende sintetizar a importância da qualidade da informação recolhida.

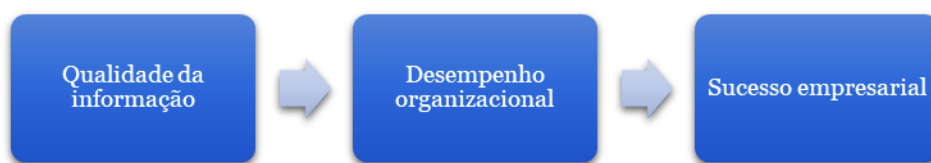


Figura 37-Importância da qualidade da informação (Adaptado de Samitsch, 2015)

A qualidade, a gestão eficaz e os processos de melhoria de dados podem reduzir custos e riscos, eliminar desperdícios, melhorar a tomada de decisões, melhorar satisfação do cliente, melhorar a imagem da marca, ajudar as organizações a estarem em conformidade, privacidade, segurança e a corresponder aos requisitos e expectativas dos cliente (Mahanti, 2019), isto significa que, a disponibilidade de dados cria maior acessibilidade e oportunidade (Hoeren, 2017).

Consequentemente, para concretizar a nova visão da qualidade é necessária a integração horizontal e vertical de toda a informação recolhida pelas aplicações e dispositivos tecnológicos, é essencial garantir a fiabilidade dos dados da qualidade, dos produtos, dos clientes, e finalmente, compilar essa informação de forma organizada e coerente (Brandenburger et al., 2020).

A abordagem mais promissora para a qualidade do século XXI, envolve a criação de bases de dados os quais podem ser acedidos por qualquer utilizador, com o objetivo de obter documentos, relatórios e conjuntos de informações, com o intuito de resolver problemas na organização. Cada dado deve ser tido em consideração, identificado, armazenado e disponibilizado, para permitir contruir modelos de informação e resolver uma ampla gama de problemas e tarefas (Aleksandrova et al., 2019). Isto significa que a qualidade dos dados é um fator crítico, já que muitas tecnologias como os *Big Data*, a IoT e a

Inteligência Artificial, tem como base informações e a análise das mesmas (Hyun Park et al., 2017).

Segundo Zonnenshain et al. (2020), a qualidade da informação é uma estrutura essencial para a engenharia da qualidade atualmente, pois está associada a uma estrutura de planeamento e avaliação do nível de qualidade, fornecida por métodos e ferramentas analíticas. Formalizar este conceito aumenta o valor da ciência da informação, da análise estatística e da qualidade baseada nos dados. A informação é possivelmente o *input* mais importante para tomar decisões, e até mesmo para formar opiniões, dado que, o objetivo é tomar decisões informadas, que resultam em ações eficazes. Claro que, a qualidade das decisões e das opiniões, não dependem apenas, das entradas de informação de qualidade, mas também da forma como a informação é processada, para fornecer conhecimento sobre o evento ou fenómeno (Mukherjee, 2019). Assim sendo, os dados são a base da qualidade, mas por si só não garantem que a qualidade da informação (Rajola, 2013).

De acordo com Jugulum (2019), para que os dados sejam geridos de forma eficaz, as empresas devem concentrar-se nos seguintes atributos:

- Alinhar os objetivos de gestão da informação com os objetivos gerais da organização, em conjunto com uma forte liderança e apoio de gestão de topo;
- Formar uma abordagem de qualidade de dados eficaz para garantir que a informação é adequada ao propósito pretendido;
- Estabelecer uma sólida monitorização e controlo da qualidade dos dados com um sistema eficaz de gestão de problemas.

É possível afirmar, que com a chegada da era dos *Big Data*, os dados de diversos setores apresentem um crescimento exponencial, por isso garantir a qualidade da informação, analisar e extrair informações e conhecimentos ocultos por trás dos dados são questões importantes para a indústria. Sendo que, a falta de qualidade dos dados leva a uma baixa eficiência e, por vezes, acarreta erros nas decisões (Cai et al., 2015).

Gerir a qualidade, neste contexto, significa ser capaz de fazer previsões rápidas e precisas sobre o que realmente importa para o cliente e para a organização, ou seja, uma combinação de diferentes parâmetros que farão com que haja uma produção mais aprimorada e uma experiência extraordinária para o cliente (Lee, 2017).

#### **4.11. Clientes da Era 4.0**

A globalização criou oportunidades, tanto para as sociedades, como para as economias. A competitividade das organizações não depende do grau de grandeza do país de origem ou das vantagens do passado, mas sim, do estabelecimento de relações com os clientes e outros parceiros, para criar produtos e serviços diferenciados. O conceito de confiança, caráter, valores de honestidade e credibilidade, são elementos que originam uma base sólida na relação com os clientes (Wereda et al., 2019).

A elevada competitividade entre as organizações, potenciada pelo desafio crescente da nova Revolução Industrial e da globalização económica, relança e salienta a necessidade de satisfazer os consumidores. A qualidade é uma exigência crescente seja qual for o mercado de atuação organizacional. Porém, as empresas devem comprovar que possuem os meios e os recursos necessário para desenvolver produtos/serviços com qualidade, para que possa haver um acompanhamento ideal das exigências dos clientes. Logo, as organizações começam a entender que a qualidade não é um fator negociável, o que significa que entregar algo não conforme é uma catástrofe e compromete o futuro da empresa (ICQEM20, 2020).

De acordo com Klefsjö et al. (2008), a definição ampla do cliente é designada como a pessoa que compra bens ou serviços numa determinada empresa. Já para a ASQ (2020f), o cliente é qualquer pessoa a quem a organização fornece produtos ou serviços. Posto isto, o comportamento do consumidor é atualmente caracterizado pela crescente exigência devido à digitalização, ou seja, os clientes encontram-se ligados através de diferentes tipos de dispositivos tecnológicos, o que faz com que haja um maior conhecimento das marcas e das empresas, bem como, a forma de produção e o nível de satisfação dos respetivos clientes (Dellaert, 2019).

Segundo Wereda et al. (2019), o cliente contemporâneo é um cliente baseado na *Internet*, e está envolvido na nova realidade digital, razão pela qual as suas necessidades são crescentes. Por um lado, os novos desenvolvimentos tecnológicos, proporcionam uma grande satisfação e entusiasmo, mas também suscitam uma grande ansiedade e medo quanto à exigência da flexibilidade das operações nas empresas. Consequentemente, a chave para o sucesso de uma organização é atender às necessidades do consumidor com a melhor qualidade possível, adaptando-se, ao mesmo tempo às mudanças esperadas pelos requisitos do mercado (Kovács et al., 2017), isto é, sem clientes, não há negócios (Lim, 2020). Deste modo, as empresas deixaram de ser definidas apenas pelos seus funcionários e parceiros, e passaram a ser definidas pelos clientes que participam

ativamente, mesmo que não estejam cientes disso, na adequação de produtos e serviços (Radziwill, 2020).

Embora a mudança tecnológica tenha contribuído para a gestão da qualidade, este conceito também cria a oportunidade de redefinir a qualidade e transformar muitas empresas em líderes de mercado. Neste momento, na maior parte das organizações, os paradigmas de qualidade permaneceram inalterados e as empresas estabelecidas acabaram por manter a posição como líderes. Mas este ambiente está a alterar-se, e cada vez mais surgem novos padrões e requisitos dos clientes, o que faz com que essas empresas percam a sua quota de mercado, devido à falta de qualidade de produtos/serviços e de inovação (Kearney, 2021).

O grande desafio da qualidade, atualmente, são as necessidades do cliente, dado que, as empresas têm de manter as expectativas do consumidor ou os concorrentes mais inovadores acabam por conquistá-los, através da tecnologia transformadora e da ótima experiência do utilizador (Sampaio et al., 2016). A produção de produtos e serviços de base tecnológica, a capacidade de inovação e a qualidade proporcionam e excedem as expectativas dos consumidores. Isto é uma base para formar perceções, valor e expectativas no consumidor. Ou seja, estes três tópicos, são importantes, e evitam a monitorização, apenas do resultado final dos processos internos, garantindo que o cliente recebe o melhor produto ou serviço do mercado (Radziwill, 2020).

Segundo Tamás (2016), o modo de satisfazer as necessidades únicas dos clientes influencia significativamente a competitividade de qualquer organização. Isto significa, que o objetivo da I4.0 e da Q4.0 é a satisfação das necessidades do cliente com custos reduzidos. As organizações que compreendem a importância do cliente, tal como o relacionamento que devem ter com o mesmo, integram uma estratégia de sobrevivência. Consequentemente, as melhorias proporcionadas pela gestão da qualidade, incluem maior satisfação do cliente, redução de erros, melhor desempenho organizacional e operacional. Estes benefícios tem um impacto direto na sustentabilidade económica e funcional de qualquer empresa (Fonseca et al., 2021).

Sendo assim, nesta nova fase industrial o foco no cliente é um ponto-chave para a gestão da qualidade e de todas as organizações, no geral. Assim, a Qualidade 4.0 é uma nova abordagem da gestão da qualidade em que as ferramentas digitais aumentam a capacidade das empresas, para que estas possam fornecer, de forma consistente, os melhores produtos e desempenho ao cliente (Kupper et al., 2019). Além disso, para

construir uma relação de confiança, a gestão da qualidade depende principalmente de certificações e auditorias, bem como da seleção cuidadosa de fornecedores (Hernandez et al., 2018).

O objetivo é identificar e atender às exigências do cliente, o que hoje em dia significa fornecer produtos e serviços consoante as expectativas do consumidor e, além disso, mexer com as emoções do mesmo (Hernandez et al., 2018). Após identificar os requisitos do cliente, a produção rápida é outro fator importantíssimo, tanto para a satisfação do comprador, como para a sobrevivência da organização (Hyun Park et al., 2017).

De acordo com Radziwill (2020), o mais importante para qualquer organização é a voz do cliente (*Voice of the Customer-VOC*), ou seja, as expectativas que o consumidor tem em relação a um produto ou serviço. Para que as empresas consigam identificar isto, existem quatro etapas que devem seguir:

- Identificar as necessidades e expectativas do cliente;
- Entender e priorizar as necessidades;
- Proporcionar experiências significativas ao cliente;
- Prever e antecipar as necessidades futuras dos consumidores.

A nova realidade leva a um futuro onde a voz do cliente é ampliada, de modo a criar uma experiência personalizada e individual de cocriação (ICQEM20, 2020). De acordo com Antony (2021), a Qualidade 4.0 pode ser utilizada para entender o tipo de cliente de hoje e de amanhã, tal como as suas expectativas, através dos *Big Data* e da análise da VOC. As informações e análises precisas, efetuadas pelas empresa, sobre as percepções dos clientes a respeito da qualidade dos serviços e produtos, podem aperfeiçoar decisões, para que haja uma melhor satisfação dos consumidores (Hayes, 2008). Com os recursos da I4.0, não se pode atingir produtos e serviços perfeitos, mas é uma oportunidade para procurar respostas quase perfeitas para as expectativas e exigências dos consumidores (Hyun Park et al., 2017).

Quando todos os conjuntos de dados da pesquisa estão disponíveis, é necessário que haja uma avaliação de forma adequada para identificar o comportamento e as intenções futuras do cliente. Devem ser aplicados métodos estatísticos relevantes e devem ser registadas todas as saídas de informações, para que os dados de *feedback*, relacionados com as futuras intenções, possam ser visualizados e comunicados. O conjunto de dados analisados deve incluir indicadores de lealdade, gráficos de tendências, análise da causa das mudanças de lealdade e propostas para atingir um nível mais elevado de fidelidade

num determinado período de tempo. Estas propostas devem ser aprovadas e apoiadas pela gestão de topo (Nenadál et al., 2021). Isto significa, que as empresas devem-se dedicar às experiências e às exigências do cliente desde o princípio, logo na fase de desenvolvimento do produto ou serviço. Todo o processo deve ser pensado e planeado, incluindo o design, publicidade, experiência de vendas na loja, *website*, funcionários, entrega, qualidade, atendimento ao cliente, etc. (Lafrenière, 2020).

A satisfação do cliente tem uma variedade de consequências positivas, isso inclui uma redução nas reclamações, um aumento na intenção de voltar a efetuar outra compra e *marketing* boca a boca positivo, os quais podem ser generalizados em duas consequências principais: lealdade do cliente e diminuição da insatisfação (Johnson et al., 1997). Aliás, ao entender se o cliente está satisfeito e insatisfeito, a organização pode determinar onde é necessário concentrar os esforços para melhorar a qualidade (Sampaio et al., 2016). As reclamações dos clientes sobre os problemas da qualidade da empresa podem levar a oportunidades únicas (Lim, 2020).

Em síntese, o principal objetivo na mente dos clientes é ser único, individual, com experiências positivas, e por último, ter a melhor qualidade de produtos/serviços ao melhor preço (Wereda et al., 2019). As percepções dos clientes sobre os produtos, qualidade, variedade e entrega, são fortemente influenciadas pelas informações tecnologias e pelas redes sociais. Neste contexto, as empresas devem tentar ser flexíveis e adaptarem-se rapidamente, dado que, apenas um produto ou uma marca pode mudar tendências. Os processos de produção devem ser eficientes o suficiente para atender as necessidades dos consumidores, mas também serem flexíveis o suficiente para se adaptarem rapidamente a mudanças de requisitos. A este respeito, a capacidade de realizar análises atempadas de dados no mercado é um elemento-chave da flexibilidade. Assim, as empresas precisam de investir em canais comunicação que facilitem a troca contínua de informações sobre as necessidades e situações individuais dos clientes em tempo real (Blazquez-Resino et al., 2020). Sendo assim, a satisfação do cliente é raiz da revolução global da qualidade (Allen, 2004).

#### **4.12. Análise de Casos de Estudo**

A compreensão da temática abordada, enquanto estratégia, pode revelar-se importantíssima, tanto para o departamento da qualidade como para as organizações que pretendam inovar no campo da qualidade. Neste sentido, para se poder ter um melhor entendimento da abrangência do paradigma de Qualidade 4.0, foram

selecionados quatro casos de estudo, de carácter único e inovador, com o intuito de demonstrar o espírito e os valores do novo conceito de qualidade.

Na Tabela 14, é apresentada uma síntese, na qual são descritos cada um dos casos analisados, bem como a referência, o tema e os resultados obtidos.

Tabela 14-Descrição dos casos de estudo relacionados com a Qualidade 4.0

| Nº do caso de estudo | Tema                         | Descrição   | Resultados observados  | Referência                |
|----------------------|------------------------------|---|--|---------------------------|
| 1º                   | Controlo da Qualidade        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo da Qualidade numa linha de produção automatizada, através do fluxo adequado de dados;</li> <li>• Informação em tempo real.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização, redução ou eliminação de defeitos;</li> <li>• Controlo da qualidade;</li> <li>• Deteção de falhas;</li> <li>• Redução do tempo de inatividade do processo produtivo;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Aumento da produtividade.</li> </ul> | Petritoli et al. (2020)   |
| 2º                   | Realidade Aumentada          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo da qualidade de medições, através de óculos de Realidade Aumentada, que identifica as máquinas e ajuda o trabalhador a identificar se o produto se encontra dentro dos parâmetros de comercialização;</li> <li>• Informação em tempo real.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização, redução ou eliminação de defeitos;</li> <li>• Controlo da qualidade;</li> <li>• Maior flexibilidade de sistemas e do trabalho;</li> <li>• Redução do tempo de inatividade do processo produtivo;</li> <li>• Aumento da produtividade.</li> </ul>   | Szajna et al. (2020)      |
| 3º                   | Impressão 3D                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimização da impressão 3D através a aplicação de uma camara, para maior controlo do processo;</li> <li>• Informação em tempo real.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimização, redução ou eliminação de defeitos;</li> <li>• Deteção de falhas;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Controlo da qualidade.</li> </ul>  | Farhan Khan et al. (2020) |
| 4º                   | Aplicação de Realidade Mista | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementação de uma aplicação para dispositivos móveis, com o objetivo de facilitar a verificação falhas e soluções dos problemas de produção;</li> <li>• Informação em tempo real;</li> <li>• Orientação de processos.</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deteção de falhas;</li> <li>• Minimização, redução ou eliminação de defeitos;</li> <li>• Maior flexibilidade de sistemas e do trabalho;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Controlo de qualidade de processos.</li> </ul>                                 | Bottani et al. (2021)     |

#### 4.12.1. Estudo de caso Nº1

Neste caso de estudo, pretendia-se analisar a possibilidade de correção da qualidade do produto e obtenção de um fluxo melhorado, através da análise da produção e dos processos. No entanto, para que isto acontecesse, era necessária a realização de um teste de *In-Line Quality Control*, conforme as normas definidas pelos funcionários dos departamentos da Qualidade, Produção e Projeto (Petritoli et al., 2020). A seguir são apresentadas quatro etapas do caso de estudo:

- No sistema de produção foram aplicados semicondutores automatizados, com o objetivo de reduzir custos. O paradigma da produção é bastante simples, reduzir a mão de obra do ser humano a zero, ou seja, os vários lotes passam a ter componentes programados, o que torna a produção mais controlada e reduz a probabilidade de erros (Petritoli et al., 2020).
- Nesta etapa há referência à vasta quantidade de fornecedores e alguns protocolos de qualidade que devem ser seguidos, bem como à qualidade do sistema, que é examinada em detalhe, começando pela matéria-prima. Para a produção, a inspeção do material é necessária para verificar se o que foi recebido se encontra em conformidade quantitativa e qualitativa. O controlo é feito de duas formas: primeiro a verificação externa e depois a verificação interna da matéria-prima (Petritoli et al., 2020).
- No processamento de dados, o sistema de controlo da qualidade é *online*, e funciona essencialmente com base na capacidade para processar os dados adquiridos através de vários testes, a que os componentes estão sujeitos, na fase de produção. O fluxo de dados é contínuo e presente em todos os momentos de produção, onde os componentes devem ser constantemente controlados (Petritoli et al., 2020).
- No sistema de testes de verificação, os dados do processo foram imediatamente inseridos numa base de dados geral, em seguida, enviados para a Detecção de Anomalias, que deteta todas as não conformidades. A base de dados fornece o histórico de todas as falhas possíveis e qual foi o mau funcionamento ocorrido na produção dos componentes, para posterior correção e melhoria da produção (Petritoli et al., 2020).

#### **4.12.2. Estudo de caso N°2**

No presente caso de estudo, as principais ferramentas tecnológicas que integram o sistema de produção, inspeção e controlo são a *Cloud*, um dispositivo de projeção visual, uma câmara digital que grava imagens paralelamente às visualizadas pelo operador, um computador e um *software* próprio para processamento e análise de imagens (Szajna et al., 2020).

A realidade aumentada fornece ao utilizador uma interação transparente entre o homem e a máquina, que exhibe todos os dados necessários para o operador. Todo o controlo e as notas, bem como os relatórios, são elaborados através de comunicação gestual e verbal, para facilitar todo o processo de recolha de informação. Portanto, o sistema de suporte de Realidade Aumentada funciona em tempo real, por intermédio de um algoritmo com o objetivo de enriquecer a imagem real com a virtual (Szajna et al., 2020).

A inspeção específica do produto, ou máquina, é realizada pelo operador, no ponto de inspeção indicado, utilizando o sistema de suporte desenvolvido. Isto permite, que quando o operador olha para o produto ou máquina, estes sejam reconhecidos pelos óculos. Portanto, uma apresentação visual é mostrada ao funcionário, na forma de texto descritivo, sobre a ordem de execução, e para além disso, um modelo 3D, a localização dos pontos de medição e os valores esperados da medição do produto, proporcionando ao operador liberdade e facilidade de execução das tarefas, liberdade de movimento e o fato de o operador não precisar de se concentrar para identificar o produto, nem de procurar pelo valor de mediadas padrão (Szajna et al., 2020).

Sintetizando, quando o funcionário de controlo da qualidade olha através dos óculos de Realidade Aumentada para uma máquina ou produto, o *software* identifica automaticamente e exhibe os detalhes, conforme solicitado, eliminando tempos de identificação e erros de medição (Szajna et al., 2020).

#### **4.12.3. Estudo de caso N°3**

Este estudo teve como objetivo estudar a otimização e a automatização da impressão 3D. O problema desta tecnologia é que requer horas de monitorização durante a impressão do produto, ou seja, é difícil para um operador controlar a qualidade do mesmo, dado que, um pequeno erro pode custar horas de trabalho e uma grande quantidade de material, pois a impressão 3D está sujeita a vários defeitos que são extremamente difíceis de evitar e detetar (Farhan Khan et al., 2020).

De acordo com Farhan Khan et al. (2020), se o produto contém defeitos após ser produzido, isto significa que há tempo e material desperdiçado. Posto isto, existem vários tópicos importantes que têm de ser sempre verificados, antes de se passar à impressão de um produto, que são:

- Alta temperatura do bocal de impressão, uma vez que uma impressora 3D normal é capaz de imprimir vários materiais que possuem diferentes temperaturas de fusão;
- A distância entre o bocal e camada tem de ser precisa, ou então ocorre uma impressão imprópria do produto;
- Desalinhamento do bocal, devido a problemas de condução de motores, que pode causar deslocamento das camadas de impressão;
- Fatores diversos, como por exemplo, o bocal bloqueado e problemas com os elementos de aquecimento.

Estes fatores mencionados causam diversos problemas como deformações, flacidez, sobre aquecimento irregular do material e defeitos do produto, como poros e buracos. Para resolver estas adversidades é necessário montar uma câmara estática, que capte as imagens em tempo real, para dar entrada no modelo da CNNs (*Convolutional Neural Network*), ou seja, para verificar a qualidade de todas as partes do produto, é integrada uma câmara estática que capta uma imagem nítida e através da ajuda do *Deep Learning* são reconhecidos padrões e defeitos possíveis. Os resultados do presente projeto são uma maior otimização, automatização, monitorização e controlo da qualidade na impressão 3D, bem como a redução de erros de produção e erros humanos (Farhan Khan et al., 2020).

#### **4.12.4. Estudo de caso N°4**

Os sistemas de alerta das *Smart Factories* têm benefícios significativos, como a maior eficiência produtiva, a redução de tempos de inatividade e uma maior segurança dos funcionários, ou seja, é uma ferramenta de proteção em caso de acidentes ou erros industriais. Neste estudo, foram abordados esses alertas, através da criação de uma aplicação, que pode ser acedida através de um simples telemóvel, para facilitar as operações de controlo da qualidade (Bottani et al., 2021).

Pode-se verificar, que o elemento-chave deste estudo de caso é o desenvolvimento de uma aplicação, que tem como propósito a gestão de dados, a interação com os dispositivos móveis e a aplicação da Realidade Mista nas organizações. Isto requer uma

aplicação da *web* à qual o administrador tem acesso a todo o processo produtivo de forma *online* (Bottani et al., 2021).

Sendo assim, segundo Bottani et al. (2021), o administrador pode utilizar uma aplicação, como uma *interface* do sistema, que contém dados específicos sobre as máquinas, soluções para problemas operacionais detetados ou procedimentos de segurança, que mais tarde serão utilizados e exibidos num dispositivo móvel para cada operador, que terá acesso a uma Realidade Mista, ou seja, uma junção de Realidade Virtual com a realidade visível a olho nu.

A utilização de dispositivos particulares, têm como objetivo principal controlar a qualidade, e foram desenvolvidos para permitir que os funcionários executem ações específicas no sistema, como por exemplo, preencher a lista dos alarmes para um determinado ativo. A aplicação também é capaz de comunicar com os sistemas de informação da empresa, detetar e comunicar o estado das máquinas ligadas. No caso de alerta, o operador irá ter acesso a um guia para a resolução do problema verificado, que irá orientar o funcionário na execução das tarefas necessárias para restaurar as máquinas (Bottani et al., 2021).

#### **4.13. Proposta de aplicação das ferramentas da Indústria 4.0 para a Qualidade**

Face ao que foi apresentado teoricamente, nesta parte da dissertação serão analisados os principais investimentos que as organizações devem fazer, nas tecnologias da I4.0, para obter a melhor qualidade possível. Deste modo, nesta parte do capítulo são apresentados alguns exemplos de lacunas organizacionais, que se encontram na Tabela 15, na qual são descritos e analisados os diversos departamentos, as ferramentas que poderão ser utilizadas, as melhorias que poderão proporcionar e os resultados que se poderão obter através da utilização das tecnologias.

O objetivo é a identificação das principais ferramentas que proporcionam uma maior qualidade, mas principalmente as que melhoram o controlo da qualidade em toda a organização, de modo a proporcionar uma maior satisfação de todos os *stakeholders*.

Tabela 15-Proposta de aplicações de ferramentas tecnológicas

| Exemplos de problemas identificados   | Ferramentas aplicadas para a resolução do problema   | Descrição da aplicação das ferramentas   | Melhorias Proporcionadas   |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricação de produtos que não cumprem os requisitos e especificações pré-definidas;</li> <li>Processos produtivos fora de controlo;</li> <li>Falta de identificação de falhas de qualidade do produto e processos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>IoT;</li> <li><i>Deep Learning</i>;</li> <li><i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li><i>Cloud</i>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Para colmatar a não conformidade de produtos ou processos, é possível utilizar alarmes e interrupção automática de linhas de produção, na qual o <i>Deep Learning</i>, ajuda a identificar esses mesmos erros;</li> <li>A IoT, permite maior interação do sistema produtivo originando a recolha de dados em tempo real sem interação humana, através de sensores e camaras de alta-definição, que acompanham todo o processo produtivo;</li> <li>Os <i>Big Data and Analytics</i> devem ser utilizados para analisar as causas do incumprimento dos requisitos do produto, ajudar a identificar problemas produtivos antes da sua ocorrência e reconhecer os dispositivos onde a probabilidade de erros é maior, para posterior aplicação de ações corretivas. Isto significa, que as organizações devem efetuar estudos para identificar as falhas e a raiz das causas das respetivas falhas, portanto, através dos <i>Big Data</i> e da análise dos mesmos é possível detetar padrões de falhas e analisar a causa da sua ocorrência mais facilmente, dado que a informação é baseada em dados em tempo real, devido à IoT;</li> <li>Quanto à <i>Cloud</i> pode ser aproveitada para armazenar esta análise, para posterior consulta de informação, caso seja necessário.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Diminuição de não conformidade do produto;</li> <li>Diminuição do desperdício de matéria-prima;</li> <li>Diminuição da produção de produtos não conformes;</li> <li>Transparência do processo produtivo;</li> <li>Redução e prevenção de defeitos;</li> <li>Redução de reclamações de clientes;</li> <li>Redução de custos de produção;</li> <li>Redução de custos com paragens de verificação de máquinas e material;</li> <li>Otimização do processo produtivo;</li> <li>Correção de problemas produtivos identificados na análise dos <i>Big Data</i>;</li> <li>Antecipação de problemas e adaptação a novas circunstâncias;</li> <li>Correção de problemas de imediato;</li> <li>Otimização do controlo da produção;</li> <li>Melhoria do controlo da qualidade.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Má disposição de material e máquinas no chão de fábrica.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Simulações.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>A ferramenta de Simulações permite criar plantas virtuais que incluem todos os elementos de produção, facilitando a visualização de todo o sistema produtivo, ou</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Otimização decisões de controlo;</li> <li>Apoio a decisões em tempo real;</li> <li>Melhoria da disposição de máquinas;</li> <li>Facilidade de visualização de toda a cadeia produtiva;</li> </ul>   |

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  |   | <p>seja, permite reorganizar a disposição do chão de fábrica de forma virtual, de modo a otimizar a disposição das máquinas e do material.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oportunidades de melhoria da disposição do chão de fábrica;</li> <li>• Melhoria da produtividade;</li> <li>• Melhoria da satisfação dos funcionários;</li> <li>• Redução de desperdícios de tempo com movimentações.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erros humanos que podem provocar falta de qualidade nos processos ou nos produtos.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Robôs autônomos;</li> <li>• IoT.</li> </ul> <p style="text-align: center;">OU</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inteligência Artificial;</li> <li>• Realidade Aumentada;</li> <li>• IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A aplicação da IoT concede aos robôs, através de um programa, as instruções necessárias para que estes procedam à produção, permitindo o desenvolvimento da produção automatizada e a redução da interação humana no processo produtivo.</li> </ul> <p style="text-align: center;">OU</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Com a implementação da Inteligência Artificial e da IoT, o operador tem instruções de trabalho em tempo real, através de aplicações em dispositivos móveis, painéis interativos ou óculos de Realidade Aumentada, que facilitam a interação do ser humano no processo produtivo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalho mais rápido e com mais perfeição;</li> <li>• Diminuição da não conformidade de produtos;</li> <li>• Produção à primeira sem desperdícios;</li> <li>• Maior controlo operacional;</li> <li>• Facilidade de adaptação a novas circunstâncias;</li> <li>• Agilidade produtiva;</li> <li>• Interação humana apenas quando é necessário;</li> <li>• Redução de custos com não conformidades do produto;</li> <li>• Apoio das decisões em tempo real;</li> <li>• Aperfeiçoamento do <i>know-how</i> dos colaboradores;</li> <li>• Melhoria do desempenho organizacional;</li> <li>• Redução do erro humano;</li> <li>• Melhoria da qualidade dos produtos.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falhas na produção de produtos complexos;</li> <li>• Falhas de montagem de produtos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Additive Manufacturing</i>;</li> <li>• IoT;</li> <li>• <i>Deep Learning</i>.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Na resolução de falhas na montagem de produtos, produção de produtos complexos ou muito personalizados, uma opção a ter em conta é a <i>Additive Manufacturing</i>, pois permite a impressão de produtos, reduzindo ou até mesmo eliminando processos de montagem;</li> <li>• O <i>Deep Learning</i> deve ser aplicado para a verificação automática de erros;</li> <li>• A IoT servirá para que a informação, quanto à ocorrência de erros, seja dada em tempo real, através de sensores e camaras previamente instalados.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção rápida e robusta;</li> <li>• Trabalho mais rápido e com mais perfeição;</li> <li>• Diminuição da não conformidade de produtos;</li> <li>• Fabricação de produtos ultrapersonalizados;</li> <li>• Diminuição ou eliminação de etapas de construção;</li> <li>• Minimização, redução ou eliminação de defeitos;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Maior controlo de qualidade;</li> <li>• Detecção de defeitos de forma rápida.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Duplicidade de processos;</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulações.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As organizações devem utilizar a ferramenta de Simulação para simular todos os processos produtivos, com o objetivo de identificar a duplicidade de processos e</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Redução de tempo desperdiçado;</li> <li>• Eliminação de atividades que não acrescentam valor à organização;</li> </ul>   |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processos que não acrescentam valor à organização.</li> </ul>  |  | <p>processos que não acrescentam valor à empresa, para posteriores ações corretivas.</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior qualidade de processos;</li> <li>• Melhoria da eficiência.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de conhecimento individual do cliente;</li> <li>• Inexistência de reconhecimento das expectativas do cliente;</li> <li>• Inexistência de estudos sobre os padrões de compras de cada cliente.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Deep Learning</i>;</li> <li>• Inteligência Artificial;</li> <li>• <i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>• <i>Cloud</i>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir da aplicação das ferramentas <i>Deep Learning</i>, Inteligência Artificial e dos <i>Big Data and Analytics</i>, é possível fazer uma análise completa à <i>Voice of the Customer</i>, extraindo informações como: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ previsões e identificação das necessidades e expectativas do cliente explícitas e implícitas;</li> <li>○ níveis de satisfação;</li> <li>○ previsão e antecipação das necessidades futuras dos consumidores;</li> <li>○ previsões de compras do cliente, como por exemplo: tipo de produto, período de tempo para efetuação de nova compra, etc.</li> </ul> </li> <li>• A <i>Cloud</i> deve ser aproveitada para armazenar esta análise, para posterior consulta de informação.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de vendas;</li> <li>• Redução de custos com o incumprimento de requisitos;</li> <li>• Melhoria da experiência do cliente;</li> <li>• Capacidade de satisfazer as expectativas claras e implícitas;</li> <li>• Marketing boca-a-boca positivo;</li> <li>• Aumento da probabilidade de sobrevivência;</li> <li>• Previsão e antecipação de compras futuras;</li> <li>• Redução de <i>stocks</i> e respetivos custos;</li> <li>• Sustentabilidade funcional;</li> <li>• Conformidade de requisitos.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação e atendimento de clientes em modo padrão.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inteligência Artificial.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Através da Inteligência Artificial, as organizações podem obter um atendimento e comunicação personalizada para cada cliente.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliação das capacidades de atendimento;</li> <li>• Aumento da satisfação do cliente;</li> <li>• Ganhos através da boa reputação;</li> <li>• Melhoria da experiência do cliente;</li> <li>• Simplificação da comunicação.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de interação com os fornecedores.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integração Horizontal;</li> <li>• IoT.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A Integração Horizontal proporciona um aumento da interação com os fornecedores, facilita acessibilidade entre organizações e a partilha de conhecimento, além disso, é possível obter a informação em tempo real, através da IoT sobre o <i>stock</i> do cliente para que haja uma reposição de matéria-prima em modo <i>Just in Time</i>;</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proximidade com os fornecedores;</li> <li>• Aumento da confiança, honestidade e credibilidade entre organizações;</li> <li>• Aumento da competitividade;</li> <li>• Aumento da eficiência dos fornecedores;</li> <li>• Previsão de pedidos de matéria-prima;</li> <li>• Transparência de <i>stocks</i>;</li> <li>• Redução de itens em stock;</li> <li>• Melhoria em ambas as organizações;</li> <li>• Transferência de conhecimento entre organizações.</li> </ul>   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleção de fornecedores sem a análise dos mesmos;</li> <li>• Aceitação do custo de matéria-prima.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>• IoT;</li> <li>• <i>Cloud</i>.</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir da recolha e análise de dados relativamente a diversos fornecedores possíveis para a organização, torna-se mais provável a seleção das melhores empresas de abastecimento de matéria-prima;</li> <li>• A realização de estudos de mercado, nomeadamente de custos de aquisição de matéria-prima, proporciona à organização a informação suficiente para negociar os custos de aquisição de material;</li> <li>• A <i>Cloud</i> pode ser aproveitada para armazenar esta análise, para posterior consulta de informação, caso seja necessário.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtrar fornecedores com pouca qualidade;</li> <li>• Aumento da confiança, honestidade e credibilidade entre organizações;</li> <li>• Melhoria do controlo da qualidade;</li> <li>• Aumento da competitividade;</li> <li>• Aumento da eficiência dos fornecedores;</li> <li>• Renegociação de propostas;</li> <li>• Garantia da qualidade da matéria-prima;</li> <li>• Redução de custo com matéria-prima não conforme;</li> <li>• Aumento da probabilidade de sobrevivência da organização;</li> <li>• Sustentabilidade económica;</li> <li>• Custos competitivos.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Receção de matéria-prima não conforme.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realidade aumentada;</li> <li>• <i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Na receção de matéria-prima, deve ser verificada a qualidade do material, ou seja, uma análise da qualidade da matéria-prima entregue pelo fornecedor, isto significa, fazer inspeções visuais, medições de materiais, testes de resistência, etc. Estas atividades de controlo tornam-se mais fáceis com a aplicação da IoT e da Realidade Aumentada;</li> <li>• Isto também pode servir para fazer uma avaliação de fornecedores quanto à sua qualidade e desempenho, através dos <i>Big Data and Analytics</i>.</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantia de qualidade da matéria-prima;</li> <li>• Redução de defeitos produtivos;</li> <li>• Maior controlo da qualidade;</li> <li>• Redução da matéria-prima não conforme;</li> <li>• Redução de reclamações ao fornecedor;</li> <li>• Conformidade de requisitos.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falhas de máquinas e processo;</li> <li>• Resolução de problemas após a deteção da sua ocorrência.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Machine Learning</i>;</li> <li>• <i>Deep Learning</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A incorporação de tecnologias de <i>Machine Learning</i> e <i>Deep Learning</i> nas organizações permite ter acesso a previsão de falhas de máquinas e processos, ou seja, proporcionam à organização uma monitorização de processos, recolha de informações em tempo real e uma análise para posterior previsão de problemas de equipamentos.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da disponibilidade de ativos;</li> <li>• Redução de custos com manutenção preventiva;</li> <li>• Melhoria dos planos de trabalho;</li> <li>• Manutenções planeadas;</li> <li>• Melhoria do controlo da qualidade;</li> <li>• Aumento da manutenção preditiva;</li> <li>• Maior segurança;</li> <li>• Diminuição de paragens forçadas;</li> <li>• Redução de defeitos na produção;</li> <li>• Redução de custos.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenções mal executadas ou</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inteligência Artificial;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Com a implementação da Inteligência Artificial e da IoT, o operador tem instruções</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de falhas na reparação de máquinas;</li> <li>• Otimização de processos de manutenção;</li> </ul>   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| processos produtivos mal executados.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realidade Aumentada;</li> <li>IoT.</li> </ul>           | de trabalho em tempo real, através de aplicações em dispositivos móveis, painéis interativos ou óculos de Realidade Aumentada, que facilitam a interação do ser humano no processo produtivo.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Melhoria da mão-de-obra;</li> <li>Aumento da satisfação dos funcionários;</li> <li>Aperfeiçoamento do <i>know-how</i> dos funcionários;</li> <li>Melhoria do controlo da qualidade;</li> <li>Permite que nenhuma manutenção seja negligenciada;</li> <li>Maior rapidez na determinação de ações corretivas;</li> <li>Maior flexibilidade do sistema e do trabalho;</li> <li>Aumento da produtividade.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de históricos de máquinas e equipamentos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo e identificação do histórico de falhas, danos e causas de falhas de todos os ativos, através dos <i>Big Data</i> e da análise dos mesmos, para posterior substituição de equipamentos, identificação de não conformidades nos equipamentos e identificação do tempo de vida útil de cada equipamento.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificação de equipamento que deve ser substituído;</li> <li>Diminuição de não conformidades devido a erros de máquina;</li> <li>Rentabilização do investimento efetuado;</li> <li>Potencialização e avaliação da vida útil dos equipamentos;</li> <li>Maior segurança;</li> <li>Diminuição de paragens forçadas;</li> <li>Redução de defeitos na produção;</li> <li>Redução de custos.</li> </ul>            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Má seleção de funcionários para a execução de determinadas tarefas;</li> <li>Erros humanos devido à falta de aptidões dos colaboradores.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Machine Learning</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicando o <i>Machine Learning</i> é possível executar avaliações aos funcionários, para identificar os seus pontos fortes e fracos, de modo a facilitar a identificação do local de trabalho mais indicado para cada colaborador;</li> <li>Além disso, deve ser feito um acompanhamento dos trabalhadores na execução da sua rotina, pelo menos nos primeiros meses de integração ao trabalho, com a aplicação da IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Distribuição de funcionários de acordo com as suas aptidões;</li> <li>Melhoria do desempenho organizacional;</li> <li>Redução de erros humanos;</li> <li>Redução de defeitos na produção;</li> <li>Aumento da produtividade;</li> <li>Redução de acidentes de trabalho;</li> <li>Aumento da satisfação dos colaboradores.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Acidentes de trabalho comuns.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Estudo e identificação do histórico de acidentes laborais de todos os colaboradores, através dos <i>Big Data</i> e da análise dos mesmos, identificando padrões de incidentes, tais como: <ul style="list-style-type: none"> <li>Número de funcionários afetados;</li> <li>Partes do corpo mais afetadas;</li> <li>Funcionários que sofreram mais acidentes;</li> </ul> </li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento da satisfação dos colaboradores;</li> <li>Diminuição dos prémios de seguro;</li> <li>Redução de acidentes de trabalho;</li> <li>Prevenção de danos materiais;</li> <li>Maior controlo na prevenção de acidentes.</li> </ul>  |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Locais onde a probabilidade de ocorrências de acidentes é maior, etc.;</li> <li>• Esta identificação servirá para posterior aplicação de medidas preventivas, nos vários departamentos.</li> </ul>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de identificação e correção de fatores que podem prejudicar o desempenho dos colaboradores.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Machine Learning</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Através do <i>Machine Learning</i> e da IoT a organização pode identificar e reajustar os fatores prejudiciais aos colaboradores, como por exemplo a humidade, temperatura, substâncias tóxicas, etc., melhorando as condições de trabalho.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da satisfação dos colaboradores;</li> <li>• Funcionários mais motivados;</li> <li>• Aumento do desempenho dos colaboradores;</li> <li>• Redução de acidentes de trabalho;</li> <li>• Prevenção de danos.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desorganização de cargas e descargas;</li> <li>• Falta de identificação de cargas e descargas prioritárias;</li> <li>• Atrasos na entrega de mercadorias;</li> <li>• Desorganização do armazém de produto acabado;</li> <li>• Falta de interação com o cliente no processo logístico.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IoT;</li> <li>• Realidade Aumentada;</li> <li>• Inteligência Artificial.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As empresas devem apostar em painéis interativos de Realidade Aumentada para verificação de cais vazios para cargas e descargas e para visualização da zona mais conveniente para execução destas tarefas, ou seja, o mais próximo da zona de armazenagem da mercadoria em questão;</li> <li>• A partir do momento em que a ordem de produção começa a ser executada, com o auxílio da Inteligência Artificial, é possível: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificar cargas e descargas prioritárias para evitar atrasos nas entregas de mercadoria;</li> <li>○ Auxiliar e planear a forma mais eficiente e rentável de colocação da mercadoria nos veículos;</li> <li>○ Organizar o armazém de produto acabado em função da data de expedição da mercadoria;</li> <li>○ Definir automaticamente o tipo de veículo em função da carga a transportar;</li> <li>○ Permitir que o cliente acompanhe a expedição do seu pedido.</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Redução do erro humano;</li> <li>• Redução de movimentações;</li> <li>• Redução de atrasos no ato de entrega;</li> <li>• Maior produtividade organizacional;</li> <li>• Otimização do departamento de logística;</li> <li>• Maior rapidez no processo de carga e descarga;</li> <li>• Aumento da confiança, honestidade e credibilidade entre a organização e os seus clientes;</li> <li>• Maior qualidade de processos;</li> <li>• Melhor eficiência organizacional;</li> <li>• Maior controlo de qualidade do processo logístico.</li> </ul> |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercadoria não identificada no ato da armazenagem;</li> <li>• Perda de mercadoria no armazém.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IoT.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Em todas as organizações deve haver uma rastreabilidade de ativos, ou seja, a aplicação da IoT para a identificação automática de mercadorias, através da ferramenta RFID (<i>radio frequency identification</i>) ou de códigos QR (<i>Quick Response</i>).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria da precisão e velocidade do inventário de produtos;</li> <li>• Redução de perdas de localização de mercadoria;</li> <li>• Redução do erro humano;</li> <li>• Consistência na movimentação de mercadoria;</li> <li>• Fácil organização da armazenagem;</li> <li>• Redução de tempo perdido à procura da mercadoria.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdas de tempo na deslocação de mercadorias.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Machine Learning</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação do <i>Machine Learning</i> e da IoT para gerir as rotas dos empilhadores e qualquer tipo de equipamento móvel interno, de modo a reduzir as perdas de tempo;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de acidentes de trabalho;</li> <li>• Redução de tempo desperdiçado;</li> <li>• Organização do armazém;</li> <li>• Consistência na movimentação de mercadoria;</li> <li>• Otimização do departamento de logística;</li> <li>• Maior rapidez no processo de carga, descarga e armazenagem de mercadoria.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desorganização da mercadoria no armazém.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Robôs autônomos;</li> <li>• IoT.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de robôs como os <i>miniloads</i>, <i>AGVs (automatic guided vehicles)</i> e transportadores que liguem diferentes áreas do armazém, de modo a proporcionar uma maior organização no armazém.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidade de carga e descarga de mercadorias;</li> <li>• Maior controlo de entradas e saídas de mercadoria;</li> <li>• Redução do erro humano;</li> <li>• Melhoria da organização do armazém;</li> <li>• Aceleração de movimentos;</li> <li>• Localização em tempo real da mercadoria.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erros humano na execução de tarefas de <i>picking</i> de produtos.</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Machine Learning</i>;</li> <li>• <i>Deep Learning</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Este erro pode ser colmatado através de <i>pick to light</i> nas prateleiras, ou seja, a utilização de <i>displays LED (light-emitting diode)</i> que mostram a localização dos produtos e a quantidade de itens a serem retirados de uma determinada prateleira, proporcionando ao operador instruções em tempo real.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do erro humano;</li> <li>• Maior organização;</li> <li>• Maior controlo de qualidade;</li> <li>• Maior satisfação dos colaboradores;</li> <li>• Redução de tempo perdido com erros.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade baseada em dados históricos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de informação atuais, ou seja, com a ferramenta <i>Big Data and Analytics</i> e a IoT, a qualidade passar a ser feita em tempo real, sem lapsos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação da dependência de processo baseados no registo em papel;</li> <li>• Controlo e registo total da qualidade de produtos;</li> <li>• Maior satisfação dos profissionais da qualidade;</li> <li>• Rápida configuração de sistemas;</li> <li>• Maior conformidade de produtos;</li> <li>• Aumento da velocidade e da qualidade das decisões;</li> <li>• Aperfeiçoamento do processo de produção;</li> </ul> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Melhoria do controlo da qualidade.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Atribuição de custos produtivos a custos de qualidade.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>A partir da recolha de informações relativas aos custos organizacionais, é possível a identificação de informação de custos de produção e de qualidade, de modo a distinguir as lacunas ao nível produtivo e ao nível da qualidade, para posteriores ações de melhoria.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Custos competitivos;</li> <li>Maior satisfação dos profissionais da qualidade;</li> <li>Identificação e distinção de não conformidades devido ao departamento de produção ou ao departamento de qualidade;</li> <li>Maior controlo de custo;</li> <li>Identificação de lacunas de qualidade;</li> <li>Cultivo a autoconsciência de custos;</li> <li>Redução e prevenção de defeitos.</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Controlo da qualidade apenas do produto final.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Deep Learning</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Com a introdução do <i>Deep Learning</i> e da IoT, as organizações, passam da deteção de defeitos para a prevenção de defeitos, ou seja, passa a haver um controlo da qualidade constante em toda a cadeia de produção.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução de custos com produtos não conformes;</li> <li>Maior satisfação dos profissionais da qualidade;</li> <li>Eliminação de erros de qualidade e produção;</li> <li>Maior controlo da qualidade;</li> <li>Redução de tempos de inatividade;</li> <li>Aumento da produtividade.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Perda de documentos tipo ou de documentos já validados;</li> <li>Perda de documentos confidenciais;</li> <li>Divulgação de documentos confidenciais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Cloud</i>;</li> <li>IoT;</li> <li><i>Cyber Segurança</i>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Através da utilização da <i>Cloud</i> e da IoT, os documentos relacionados com o sistema de gestão da qualidade podem ser acedidos em qualquer local e momento, isto significa que, os profissionais da qualidade não necessitam de perder tempo na procura da documentação;</li> <li>O acesso à documentação pode ser gerido tendo como base patamares de segurança, definidos de acordo com as permissões concedidas a cada funcionário;</li> <li>O pilar da <i>Cyber Segurança</i> torna-se muito importante nestes casos, pois protege a documentação e informação confidencial.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maior satisfação dos profissionais da qualidade;</li> <li>Melhor atendimento aos pedidos e requisitos dos clientes;</li> <li>Diminui a probabilidade de perda de registos;</li> <li>Maior controlo da qualidade;</li> <li>Eliminação da dependência de vários processos baseados em papel;</li> <li>Melhoria do estatuto organizacional;</li> <li>Melhoria da reputação da empresa;</li> <li>Facilidade de acesso a pessoas autorizadas;</li> <li>Maior satisfação dos profissionais da organização.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Falta de identificação de causas de defeitos e respetivos níveis de gravidade;</li> <li>Identificação de defeitos sem</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>IoT.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Por meio dos <i>Big Data</i> e da sua análise é possível classificar diferentes tipos defeitos, bem como, a sua gravidade e ainda classificar os diferentes níveis de causas de defeitos, isto tem o objetivo de fornecer ao departamento de qualidade a ordem de prioridades de resolução de problemas, de</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Facilidade de identificação de causas raiz;</li> <li>Identificação das causas mais recorrentes;</li> <li>Identificação das causas que provocam mais danos;</li> <li>Maior conformidade de produtos;</li> <li>Otimização do departamento de qualidade;</li> <li>Oportunidades de melhoria operacional.</li> </ul>  |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| qualquer tipo de identificação ou registo.   |   | modo a facilitar a organização do trabalho neste departamento.  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação de melhorias na qualidade sem verificação do resultado obtido.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Big Data and Analytics</i>;</li> <li>• IoT;</li> <li>• Simulações.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Com as ferramentas <i>Big Data and Analytics</i> e IoT, torna-se possível para o departamento de qualidade uma avaliação regular das melhorias de qualidade, e reajustar novas medidas caso necessário.</li> <li>• A aplicação de Simulações, permitirá simular possíveis soluções, para problemas da qualidade, e avaliar o grau de eficácia da sua implementação.</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento dos benefícios da digitalização;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Maior controlo da qualidade;</li> <li>• Identificação de pontos de melhoria;</li> <li>• Otimização do departamento de qualidade e produção;</li> <li>• Aumento das oportunidades de melhoria operacional;</li> <li>• Aumento da produtividade;</li> <li>• Maior satisfação dos profissionais da qualidade.</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de resposta a reclamações.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Deep Learning</i>;</li> <li>• IoT.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Através do <i>Deep Learning e da IoT</i> é possível construir um sistema de alertas de respostas a reclamações, ou seja, quando o prazo de resposta estiver a chegar ao fim, o funcionário da qualidade recebe um alerta de que tem de responder o mais rápido possível à reclamação. Isto proporciona ao departamento de qualidade uma gestão de reclamações eficaz e eficiente.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação das reclamações mais recorrentes para aplicação de medidas corretivas;</li> <li>• Redução de custos;</li> <li>• Melhoria do controlo de reclamações;</li> <li>• Eficácia e eficiência do departamento de qualidade;</li> <li>• Redução da insatisfação dos clientes.</li> </ul>   |

A partir da análise da Tabela 15 é possível afirmar, que a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 para auxiliar o Sistema de Gestão da Qualidade das organizações poderá proporcionar inúmeras vantagens, visto que, ajuda as organizações a superarem grandes desafios e obstáculos de longa data, como a falta de decisões baseadas em dados em tempo real. Além disso, permite às organizações reduzir diversos custos, melhorar a qualidade de produtos e serviços e melhorar a eficiência organizacional (Alzahrani et al., 2021).

As organizações do século XXI pretendem atingir um sistema de produção com zero defeitos, maximizando a qualidade e o desempenho por meio da integração de medidas de deteção, reparação, previsão e prevenção, formando uma relação sinérgica entre as pessoas e as máquinas (Psarommatitis et al., 2019). Segundo Javaid et al. (2021), um dos principais focos das organizações passa a ser o controlo da qualidade, que se torna preventivo, e tem um papel específico no cumprimento dos requisitos de qualidade do produto. O registo em tempo real, com base nos sensores e na tecnologia, é a opção mais viável para automatizar os processos produtivos.

A transição da Qualidade Tradicional, para a Qualidade 4.0, pode ser algo assustador para as organizações. O grande objetivo da Qualidade 4.0 é manter a qualidade contínua com dados, ou seja, através da IoT, devem ser recolhidas, armazenadas e processadas todas as informações possíveis e em tempo real, tornando assim a qualidade como um ato preventivo a qualquer tipo de falhas (estudo e prevenção de lacunas de processos e produtos). Isto significa que, a Qualidade 4.0 poderá oferecer excelência organizacional a partir da melhoria da comunicação, visibilidade, perceção e cooperação de colaboradores e tecnologias (Javaid et al., 2021).



## Capítulo 5. Considerações finais

No presente capítulo, apresentam-se as principais conclusões sobre a temática abordada. São ainda apresentadas as limitações do presente estudo e sugeridas algumas propostas para trabalhos futuros.

### 5.1. Conclusões

As três primeiras revoluções industriais mudaram a paradigma da indústria, a Quarta Revolução Industrial, também não foi exceção, e repete o mesmo padrão de inovação e mudança das revoluções anteriores (Schwab, 2020). De facto, esta transformação, não só teve impacto na produção, mas também nas pessoas, nos produtos, em toda organização e respetivos departamentos, nomeadamente o departamento de qualidade (Aleksandrova et al., 2019). Segundo Lee (2018), a era digital é caracterizada por mudanças dinâmicas, incertezas e a coexistência complexa de oportunidades e desafios. Deve ser captado, o melhor possível, o resultado dos esforços de inovação e da criação de um amanhã próspero e inteligente.

O crescente grau de exigência por parte dos clientes e a valorização da necessidade das suas opiniões para desenvolver e aperfeiçoar produtos/serviços, aliados à complexidade e competitividade no mundo empresarial, permitirão que a Gestão da Qualidade assuma um papel com mais destaque. Alcançar as melhores práticas organizacionais, implementar Sistemas de Gestão da Qualidade ou obter certificações com reconhecimento internacional, tornaram-se critérios capazes de distinguir as empresas e determinar a sua capacidade de sobrevivência (Sampaio et al., 2016). Para além disso, junta-se também a necessidade de enfrentar e ganhar um posicionamento de destaque no mercado, que é cada vez mais competitivo e exigente, obrigando assim as organizações a procurar constantemente a melhoria de tudo o que afeta e engloba a empresa (Wereda et al., 2019).

O tema Qualidade 4.0, é um termo recente, contemporâneo e inovador e ao mesmo tempo pode ser considerado como uma evolução conceitual, com o objetivo de ampliar as funcionalidades da qualidade no âmbito da Indústria 4.0, através da origem do *Cyber Physical System* e *Smart Factories*, que provocaram uma nova configuração industrial e novos modelos de negócios, baseados na introdução de dispositivos móveis, tais como: *IoT*, *BigData Analytics*, Realidade Aumentada, entre outros referidos anteriormente (Radziwill, 2020).

De acordo com Kumar et al. (2020), a qualidade é essencial para qualquer tipo de produto em qualquer circunstância, por isso as indústrias não podem deixar de entregar produtos de qualidade. O termo Qualidade 4.0 implica que a totalidade das pessoas, máquinas e outros elementos, envolvidos na indústria, sejam direcionados para obter produtos de qualidade, junto com a adoção de novas tecnologias.

A Qualidade 4.0 alinha, com sucesso, as melhores práticas de gestão da qualidade com o ambiente digital. As empresas que investirem nesta área, obterão melhorias significativas na cadeia de valor, em termos de eficiência operacional e de serviço, satisfação do cliente e cultura empresarial. A Qualidade 4.0 não se foca somente na tecnologia, mas sim nas pessoas que usam a tecnologia e os processos. Não substitui as práticas tradicionais de gestão da qualidade, mas melhora-as (Johnson, 2019). Com o tempo, vai permitir que as organizações tenham o foco na melhoria real, pois automatiza as funções de recolha, agregação, contextualização e interpretação de dados (Comstock, 2019), isto é, o futuro da gestão da qualidade funcionará mais com sistemas, computadores e máquinas do que com as pessoas (Lim, 2020). Mas para que isto aconteça, há um trabalho real e árduo pela frente, sendo que, apesar desse esforço, a recompensa desta aplicação será vasta (Comstock, 2019).

A nova era da qualidade melhora a conexão, a inteligência e a automatização para que pessoas, máquinas e dados possam interagir juntos para um melhor desempenho organizacional (Radziwill, 2020), o que significa que a qualidade é um elo vital e deve ser incluída ao nível estratégico durante a transformação digital (ASQ, 2021f). Segundo Kumar et al. (2020), qualidade é um fator essencial para qualquer produto, em qualquer circunstância, por isso, a indústria tem de continuar a apostar nesta área.

Os avanços introduzidos, tanto pela Indústria 4.0, como pela Qualidade 4.0, terão impacto nas organizações e na vida do ser humano de uma forma gradual e profunda (Radziwill, 2020). Logo, é claro que as organizações precisam cada vez mais de tecnologias que lhes permitam aumentar o seu desempenho, preservando e melhorando a qualidade de produtos, processos, serviços e relações com as partes interessadas. A qualidade permanece, e continuará a permanecer, um dos principais fatores de sucesso para a sustentabilidade económica e excelência organizacional (Nenadál et al., 2021). A Qualidade 4.0 não se trata apenas de tecnologia, mas sim de como melhorar a cultura, a competência, a colaboração e a liderança através da transformação digital (Ralea et al., 2019).

De acordo com Huang et al. (2016), hoje em dia, as empresas devem ter a real noção da sua capacidade de gestão da qualidade e do desempenho organizacional, e se quiserem crescer no mercado global devem oferecer produtos de elevada qualidade, seguros e com preços competitivos. A gestão da qualidade é necessária para que as empresas possam competir e enfrentar as forças desafiadoras da globalização. A competição global exige que as organizações se esforcem para garantir que os seus produtos atinjam o mais elevado padrão de qualidade.

Após a realização deste trabalho, uma das primeiras conclusões que se pode tirar é que a Indústria 4.0 está realmente a mudar a indústria um ritmo cada vez mais acelerado e que, conseqüentemente, a qualidade também está a ser afetada. Outra das conclusões é que a Qualidade 4.0 é um grande benefício para todas as organizações, mas que infelizmente, ainda se encontra pouco desenvolvida.

Em última análise, a Qualidade 4.0 abrange muito mais do que a tecnologia. É uma oportunidade nova de gerir a qualidade, na qual as ferramentas digitais aumentam a capacidade de as organizações oferecerem aos seus clientes produtos de elevada qualidade e desempenho. A qualidade é o motor de qualquer empresa, o desenvolvimento de uma cultura de qualidade oferece o caminho para a eficácia e eficiência organizacional (ICQEM20, 2020). Há benefícios significativos para o futuro da gestão da qualidade, que não se encontram a anos de distância, mas sim no agora, existe a oportunidade de apreender, controlar e impulsionar a qualidade ou então de desperdiçar (Sampaio et al., 2016).

## **5.2. Limitações e Trabalhos Futuros**

Nesta fase final da investigação, é pretendido delinear algumas limitações encontradas ao longo deste estudo, tal como, algumas recomendações e sugestões para a estrutura e desenvolvimento de trabalhos futuros.

O presente trabalho limitou-se à exploração de bibliografia do tema Qualidade 4.0, visto que, o tópico em estudo ainda se encontra numa fase embrionária. O conceito de Qualidade está em mutação e a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão da qualidade será inevitável.

Na realização deste trabalho de investigação foram encontradas algumas restrições ao seu desenvolvimento, tais como: a indisponibilidade de algumas informações e o número ainda reduzido de publicações com aplicações práticas da temática.

As recomendações para trabalhos futuros sobre esta temática são a aplicação da Qualidade 4.0 num tipo de indústria e comparação dos dados empíricos do antes e do depois da aplicação, ou seja, um estudo prático sobre o conceito, para chamar a atenção de todas as organizações para o departamento de qualidade e da sua importância. Do mesmo modo, é sugerido que os trabalhos futuros incorporem uma revisão mais profunda e de melhor entendimento em relação a cada tecnologia específica da Indústria 4.0, bem como os benefícios de aplicação e as oportunidades claras para a Gestão da Qualidade.

Sugere-se ainda, a realização de mais estudos sobre a influência da qualidade em diferentes cenários organizacionais, salientando, também se o nível de implementação e valorização é alterado ou não.

Neste caso, é evidente que os objetos para trabalhos futuros, estarão na base da implementação prática da Qualidade 4.0, para posterior estudo e aprofundamento do tema.

## Referências Bibliográficas

Abreu, C. E., Gonzaga, D., Santos, F., Oliveira, J., Oliveira, K., Figueiredo, L., Nascimento, M., Oliveira, P., Yoshinaga, S., Mata, V. & Gonçalves, G. (2017) Industry 4.0: How Companies Are Using Simulation to Prepare for the Future. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 12(12), pp. 49–53. doi: 10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53.

Abteu, M. A., Kropi, S., Hong, Y. & Pu, L. (2018) Implementation of Statistical Process Control (SPC) in the Sewing Section of Garment Industry for Quality Improvement. *Autex Research Journal*, 18(2), pp. 160–172. doi: 10.1515/aut-2017-0034.

ACCEPT. (2009) Cartas de Controlo: Porque devo implementar. Coimbra, ACCEPT Simplifying Quality.

Acemoglu, D. (2002) Technical change, inequality and the labor market. *Journal of economic literature*, 40 (1), pp. 7-72.

Akter, S. and Wamba, S. F. (2016) Big data analytics in E-commerce: a systematic review and agenda for future research, *Electronic Markets*. *Electronic Markets*, 26(2), pp. 173–194. doi: 10.1007/s12525-016-0219-0.

Alavi, M., & Leidner, D. (2001) Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *MIS Quarterly*, 25(1), 107-136. doi:10.2307/3250961

Alcácer, V. & Cruz-Machado, V. (2019) Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems, *Engineering Science and Technology*. *International Journal*, 22(3), pp. 899–919. doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.

Alcantara, L. (2017) Big Data e Internet das Coisas (IoT). São Paulo, ISBN-101973160153

Alcayaga, A., Hansen, E. & Koubek, A. (2020) Digitalisation Quality in the age of Industry 4.0: From digital production to thinking in value chains. Quality Austria. Vienna, Quality Austria - Trainings, Zertifizierungs und Begutachtungs GmbH.

Aleksandrova, S. V., Vasiliev, V. A. & Alexandrov, M. N. (2019) Integration of Quality Management and Digital Technologies. *Proceedings of the 2019 IEEE International*

*Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019*. IEEE. doi: 10.1109/ITQMIS.2019.8928426.

Allen, D. R. (2004) *Customer Satisfaction Research Management: A Comprehensive Guide to Integrating Customer Loyalty and Satisfaction Metrics in the Management of Complex Organizations*. 1ª Edição. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Alzahrani, B., Bahaitham, H., Andejany, M. & Elshennawy, A. (2021) How Ready Is Higher Education for Quality 4.0 Transformation According To the Lns Research Framework? , *MDPI Sustainability*, 13(9), pp. 1–29. doi: 10.3390/su13095169.

Anand, S. & Priya, L. (2020) *A Guide for Machine Vision in Quality Control*. Nova York, CRC Press- Taylor & Francis Group.

António, N.S. & Teixeira, A. (2007) *Gestão da Qualidade - de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM*. 1ª Edição. Lisboa, Sílabo.

Antony, J. (2021) *Quality 4.0: Enhancing Organisations' Quality Management Practices to the Next Level*. [Online]. Disponível: <https://www.thefuturefactory.com/blog/48> [Acedido a 31 de janeiro de 2021].

Antony, J. (2020) *Quality 4.0: Taking quality to its next level*. *ISE Magazine*, junho, pp. 46-47.

Almeida, A., Basgal, D. M. O., Rodriguez, M. V. & Filho, W. C. P. (2016) *Inovação e gestão do conhecimento*. Rio de Janeiro: FGV.

Armani, C. G., Oliveira, K. F., Munhoz, I. P. & Akkari, A. C. S. (2021) Proposal and application of a framework to measure the degree of maturity in Quality 4.0: A multiple case study. *Advances in Mathematics for Industry 4.0. Academic Press*, pp. 131-163. doi: 10.1016/b978-0-12-818906-1.00006-1.

Asif, M. (2020) Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 258 (120820), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120820.

ASQ- American Society for Quality (2021a) Quality Glossary. [Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/quality-glossary/q> [Acedido a 31 de janeiro de 2021].

ASQ- American Society for Quality. (2021b). Quality Tools. [Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/quality-tools> [Acedido a 1 de fevereiro de 2021].

ASQ- American Society for Quality. (2021c). Check Sheet. [Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/check-sheet> [Acedido a 2 de fevereiro de 2021].

ASQ- American Society for Quality. (2021d). Cost of Quality. [Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/cost-of-quality> [Acedido a 9 de fevereiro de 2021].

ASQ- *American Society for Quality*. (2021e). Quality 4.0. [Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/quality-4-0> [Acedido a 12 de abril de 2021].

ASQ- *American Society for Quality*. (2021f). What is customer satisfaction? .[Online]. Disponível: <https://asq.org/quality-resources/customer-satisfaction> [Acedido a 4 de maio de 2021].

ASQ-American Society for Quality. (2018) Industry and Quality 4.0: Bringing Them Together-Both Manufacturing and Methodology Have Evolved. *Quality Mag*, (October), pp. 15–16.

Badiru, A., Valencia, V. & Liu, D. (2017) Additive Manufacturing Handbook-Product Development for the Defense Industry. Taylor & Francis Group.

Banks, J. (1998) Handbook of Simulation-Principles Methodology. *Advances, Applications and Practice*. Georgia, Wiley.

Bartodziej, C. J. (2017) The Concept Industry 4.0 - An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics. 1ª Edição. Berlim, Springer Gabler.

Bauer, J. E., Duffy, G. L. & Westcott, R. T. (2006) The Quality Improvement Handbook. 2ª Edição. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Bauman, Z. (2001) Modernidade Líquida. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor.

BCG-Boston Consulting Group. (2020) Putting Industry 4.0 to Work. [Online]. Disponível em: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth> [Acedido a 18 de novembro de 2020].

Beckford, J. (2010) Quality: A Critical Introduction. 3ª Edição. Nova York, Routledge Editora.

Bekey, G.A. (2005) Autonomous Robots, From Biological Inspiration to Implementation and Control. MIT Press Books, Cambridge.

Berticelli, R., Pandolfo, A. & Korf, E. P. (2019) Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios. *Firjan SENAI*, pp. 711–744.

Bettiol, M., Maria, E. & Micelli, S. (2020) Knowledge Management and Industry 4.0 - New Paradigms for Value Creation. Knowledge Management and Organizational Learning. Padova, Springer.

Blazquez-Resino, J. J., Gutiérrez-Broncano, S., Ruiz-Palomino, P. & Jimenez-Estevez, P. (2020) Dealing With Human Resources in the Age of Consumer 4.0: Aiming to Improve Service Delivery. *Frontiers in Psychology*, 10(January), pp. 2019–2021. doi: 10.3389/fpsyg.2019.03058.

Borrer, C. M. (2008) The Certified Quality Engineer Handbook. 3ª Edição. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Bottani, E. Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., Tancredi, G. P. C., Tebaldi, L., Vetrano, M. & Vignali, G. (2021) Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line. *Computers in Industry*. Elsevier B.V., 128, pp. 1–14. doi: 10.1016/j.compind.2021.103429.

Brandenburger, J., Schirm, C., Melcher, J., Hancke, E., Vannucci, M., Colla, V., Cateni, S., Sellami, R., Dupont, S., Majchrowski, A. & Arteaga, A. (2020) Quality4.0 - Transparent product quality supervision in the age of Industry 4.0. *SIS 2020/2021-27/28 de abril*, pp. 1–12. doi: 10.1007/978-3-030-69367-1\_5.

Brunelli, J., Lukic, V., Milon, T. & Tantardini, M. (2017) Five Lessons from the Frontlines of Industry 4.0. *The Boston Consulting Group*, 1(11), pp. 1–14.

Burke, R., Mussomeli, A., Laaper, S., Hartigan, M & Sniderman, B. (2017) The Smart Factory-Responsive, adaptive, connected manufacturing. *Deloitte University Press*. [Online]. Disponível em:

[https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051\\_The-smart-factory/DUP\\_The-smart-factory.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4051_The-smart-factory/DUP_The-smart-factory.pdf) [Acedido em 18 de novembro de 2020].

Butun, I. (2020) Industrial IoT- Challenges, Design Principles, Applications, and Security. 1ª Edição. Goteborg, Springer.

Cai, L. & Zhu, Y. (2015) The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era. *Data Science Journal*, 14(2), pp. 1–10. doi: 10.5334/dsj-2015-002.

Carvalho, A. V., Enrique, D. V., Chouchene, A. & Charrua-Santos, F. (2021) Quality 4.0: An Overview. *Procedia Computer Science*, 181(2021), pp. 341–346. doi: 10.1016/j.procs.2021.01.176.

Carvalho, N. & Cazarini, E. (2019) Industry-What is it?. *Intech*, 1(1), pp. 1–9.

Carpinetti, L. C. R. (2010) Gestão da qualidade: conceitos e técnicas. São Paulo, Atlas.

Carpintero, A., Makarova, E., Ragani, A., Faure, & Rutten, P. (2017) The evolution of quality: Higher quality output, lower cost of quality [Online]. *McKinsey*. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/the-evolution-of-quality-higher-quality-output-lower-cost-of-quality> [Acedido a 25 de maio de 2021].

CGI. (2017) Industry 4.0-Making your business more competitive. *CGI Group Inc.*, 1(1), pp. 1–24.

Chaim, O. Carvalho, N., Cazarini, E. & Gerolamo, M. (2018) Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia manufacturing*, 21(15), pp. 671–678. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.170.

Chen, Y. (2017) Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers, Engineering. *Elsevier*, 3(5), pp. 588–595. doi: 10.1016/J.ENG.2017.04.009.

Clark, G. (2016) The industrial revolution: A cliometric perspective. *Handbook of Cliometrics*, pp. 197–235.

Comstock, T. (2019) Quality 4.0: The Quality Innovation Foundry. [Online]. *LNS Reserach*. Disponível em: <https://www.lnsresearch.com/research-library/research-articles/quality-innovation-foundry> [Acedido em 12 de abril de 2021].

Crnjac, M., Veža, I. & Banduka, N. (2017) From concept to the introduction of industry 4.0. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(1), pp. 21–30.

Crosby, P. B. (1978) *Quality is Free- The Art of Making Quality Certain*. Nova York, McGraw-Hill.

Dale, B.G., Bamford, D. & Wiele, T. (2016) *Managing Quality- An essential guide and resource getway*. 6ª Edição. Chichester, Wiley.

Dale, B. G. & Plunkett, J. J. (1991) *Quality Costing*. 1ª Edição. Manchester. Chapman & Hall.

Davies, R. (2015) Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth. *European Parliamentary Research Service*, (9), pp. 1-10.

Davis, N. (2016) What is the fourth industrial revolution? [Online]. Genebra: *World Economic Forum*. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-is-the-fourth-industrial-revolution/> [Acedido em 23 de fevereiro de 2021].

Dellaert, B. G. C. (2019) The consumer production journey: marketing to consumers as co-producers in the sharing economy. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 47(2), pp. 238–254. doi: 10.1007/s11747-018-0607-4.

Deloitte Insights. (2018) The Fourth Industrial Revolution is here—are you ready? [Online]. *Deloitte Insights*, (22), pp. 1–23. Disponível em: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4364\\_Industry4-0\\_Are-you-ready/4364\\_Industry4-0\\_Are-you-ready\\_Report.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4364_Industry4-0_Are-you-ready/4364_Industry4-0_Are-you-ready_Report.pdf) [Acedido em 25 de fevereiro de 2021].

Deloitte. (2017) The Fourth Revolution is now: are you ready? *Future of Operations*, (November). [Online]. *Deloitte Insights*, pp. 1–19. Disponível em:

<https://www2.deloitte.com/tr/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/the-fourth-revolution-is-now.html> [Acedido em 1 de março de 2021].

Deloitte. (2020) The Fourth Industrial Revolution -At the intersection of readiness and responsibility. [Online]. *Deloitte Insights*, (22), pp. 1–21. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/deloitte-review/issue-22/industry-4-0-technology-manufacturing-revolution.html> [Acedido em 18 de março de 2021].

Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z. & Turkyilmaz, A. (2020) Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. *MDPI-Sustainability*, 12(23), pp. 1–22. doi: 10.3390/su12239927.

Durana, P., Kral, P., Stehel, V., Lazaroiu, G. & Sroka, W. (2019) Quality culture of manufacturing enterprises: A possible way to adaptation to industry 4.0. *MDPI Social Sciences*, 8(4), pp. 1–25. doi: 10.3390/socsci8040124.

Elg, M., Gremyr, I., Hellström, A. & Witell, L. (2011) The role of quality managers in contemporary organisations. *Total Quality Management and Business Excellence*, 22(8), pp. 795–806. doi: 10.1080/14783363.2011.593899.

Emblemsvåg, J. (2020) On Quality 4.0 in project-based industries. *The TQM Journal*, 32(4), pp. 725–739. doi: 10.1108/TQM-12-2019-0295.

Engelstädter, H. & Hell, R. (2020) Quality Management 4.0: Digitization, automation, and AI-based testing as game-changing technologies. [Online]. *Oliver Wyman*. Disponível em: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2020/nov/manufacturing-industries-2030/by-function-new-sources-of-value/quality-management-4-0.html> [Acedido a 13 de abril de 2021].

Eppler, M. J. (2003) Managing Information Quality- Increasing the Value of Information in Knowledge-intensive Products and Processes. 1ª Edição, *Managing Information Quality*. Nova York: Springer.

Erboz, G. (2017) How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0. *Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era*, 1(11), pp. 761–767.

Escobar, C. A., McGovern, M. E. and Morales-Menendez, R. (2021) Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. Springer US. doi: 10.1007/s10845-021-01765-4.

Evans, J. R. (2013) *Quality & performance excellence: Management, organization, & strategy*. 7<sup>a</sup> Edição. Mason, OH: Cengage Learning.

Evans, R., McChrystal, S., Zittrain, J., Rosen, S., Davis, J., Matte, I., Shetty, D., Sternke, J., Mingguang, Z., Watson, G., Watson, A., Snee, R., Hoerl, R. & Kano, N. (2015) *Future of Quality Report: Quality Throughout*. ASQ. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Faghieh, N., Bonyadi, E. & Sarreshtehdari, L. (2021) *Quality Management and Operations Research*. Nova York: CRC Press- Taylor & Francis Group.

Farhan Khan, M., Alam, A., Siddiqui, A. M., Saad Alam, M., Rafat, Y., Salik, N. & Al-Saidan, I. (2020) Real-time defect detection in 3D printing using machine learning. *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd., 42, pp. 521–528. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.482.

Feigenbaum, A. V. (1991) *Total Quality Control*, 3<sup>a</sup> Edição. Nova York, McGraw-Hill.

Fernandez-Carames, T. M. & Fraga-Lamas, P. (2018) A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. *IEEE Access*, 6(February), pp. 1–19.

Ferreira, W., Armellini, F. & Santa-eulalia, L. A. De. (2020) Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 149(1), pp. 1–17. doi: 10.1016/j.cie.2020.106868.

Ferrere, L. (2018) Bridging the Gap to Quality 4.0. [Online]. Disponível em: <https://www.pilgrimquality.com/blog/bridging-gap-to-quality/> [Acedido em 10 de maio de 2020].

Finn, S. (2019) The Missing Link in Quality 4.0: Building the Business Case for Executive Buy-In and Company Engagement. [Online] Disponível em: <https://www.qualitymag.com/articles/95845-the-missing-link-in-quality-40-building->

[the-business-case-for-executive-buy-in-and-company-engagement](#) [Acedido em 4 de maio de 2021].

Foidl, H. & Felderer, M. (2016a). Integrating software quality models into risk-based testing. *Software Quality Journal*, 26, pp. 809-847.

Foidl, H. & Felderer, M. (2016b). Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. [Online] 245. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-32799-0\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-32799-0_10) [Acedido em 17 de fevereiro de 2021].

Fonseca, L., Amaral, A. & Oliveira, J. (2021) Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications. *MDPI Sustainability*, 13(3107). doi: 10.3390/su13063107.

Fonseca, L. M. (2018) Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits. *Proceedings of the International 12th Conference on Business Excellence*, 12(1), pp. 386–397. doi: 10.2478/picbe-2018-0034.

Garvin, D. A. (1988) *Managing Quality*. Nova Iorque, The Free Press.

Gilchrist, A. (2016) *The industrial -The industrial internet of things*. 1ª Edição. Bangken, Apress.

Godina, R. & Matias, J. C. O. (2019) Quality control in the context of industry 4.0. *Springer Proceedings in Mathematics and Statistics*, 281 (April), pp. 177–187. doi: 10.1007/978-3-030-14973-4\_17.

Goetsch, D. L. & Davis, S. (2013) *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. 7ª Edição. Edimburgo, Pearson Education.

Grzybowska, K., Awasthi, A. & Sawhney, R. (2020) *Sustainable Logistics and Production in Industry 4.0- New Opportunities and Challenges*. Poznań, Springer.

Guizani, M. (2016) *The industrial -The industrial internet of things*. 1ª Edição. Bangken, Apress.

Gunasekaran, A., Subramanian, N. and Ngai, W. T. E. (2019) Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207, pp. 125–129. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.09.005.

Habib, M. K. & Chimsom, C. (2019) Industry 4.0: Sustainability and Design Principles. *20th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, pp. 1-8, doi: 10.1109/REM.2019.8744120.

Hayes, B. E. (2008) *Measuring Customer Satisfaction and Loyalty: Survey Design, Use, and Statistical Analysis Method*. 3<sup>a</sup> Edição. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Hedelind, M. & Jackson, M. (2011) How to improve the use of industrial robots in lean manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(7), pp. 891–905.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2015) Design Principles for industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Technische Universitat Dortmund*, 1(1), pp. 4–16. doi: 10.13140/RG.2.2.29269.22248.

Hernandez, A., Domingues, P., Sampaio, P., Bernardo, M. & Cruz-Cázares, C. (2018) 3rd International Conference on Quality Engineering and Management. Barcelona, Proceedings book

Hoeren, T. (2017) Big data and the legal framework for data quality. *International Journal of Law and Information Technology*, 25(1), pp. 26–37. doi: 10.1093/ijlit/eaw014.

Hoyle, D. (2007) *Quality Management Essentials*. Oxford, Elsevier.

Hyun, P. S., Seon, S. W., Hyun, Y. & Lee, Y. (2017) Building a new culture for quality management in the era of the Fourth Industrial Revolution. *Total Quality Management and Business Excellence*. Taylor & Francis, 28(9–10), pp. 934–945. doi: 10.1080/14783363.2017.1310703.

Ian, C., Faeste, A., Heidemann, A., Winther, A., Andersen, P., Duvold, T. & Hansen, M. (2017) *Winning the Industry 4.0 Race*. Denmark, Boston Consulting Group (BCG).

ICQEM20. (2020) 4Th International Conference on Quality Engineering and Management. [Online] *International Conference on Quality Engineering and Management*. Disponível em: [http://icqem.dps.uminho.pt/icqem20\\_proceedingsbook.pdf](http://icqem.dps.uminho.pt/icqem20_proceedingsbook.pdf) [Acedido em 11 de abril de 2021].

Illés, B., Tamás, P., Dobos, P. & Skapinyecz, R. (2017) New challenges for quality assurance of manufacturing processes in industry 4.0. *Solid State Phenomena*, 261 (agosto), pp. 481–486. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.261.481.

Innopharma Technology. (2021) What Is Quality 4.0? [Online]. Disponível em: <https://www.innopharmatechnology.com/news/revolutionise-quality-through-quality-4> [Acedido em 07 de julho de 2021].

Isaacson, D. (2020a). Quality 4.0: Putting the Buzzword to Work in Real Life. [Online]. Disponível: <https://www.industryweek.com/operations/quality/article/21136186/quality-40-putting-the-buzzword-to-work-in-real-life> [Acedido a 20 de abril de 2021].

Isaacson, D. (2020b). Quality 4.0 Gains Momentum Ignites a Culture of Quality. [Online]. Disponível: <https://industrytoday.com/quality-4-0-gains-momentum-ignites-a-culture-of-quality/> [Acedido a 4 de maio de 2021].

Ishikawa, K. (1976) Guide to Quality Control. Tokyo. *Asian Productivity Organization*. [Online]. Disponível em: <https://book4you.org/book/2852980/3de177> [Acedido em 2 de fevereiro de 2020].

Jacob, D. (2017) Quality 4.0 impact and strategy handbook: getting digitally connected to transform quality management. Cambridg, *LNS Reserach*, pp. 1–28.

Jacob, D. (2018a). Roadmap to Sustainable Growth and Speeding Profitable. High-Quality Products to Market. *LNS Research*.

Jacob, D. (2018b) Quality 4.0 Series: The Quality Leader’s New Product Introduction Playbook. *LNS Research*.

Javaid, M., Abid, H., Singh, R. & Suman, R. (2021) Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector', *Sensors International*. Elsevier, 2(June), pp. 1–13. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100109.

Johnson, M. D., Herrmann, A., Huber, F. & Gustafsson, A. (1997) *Customer Retention in the Automotive Industry: Quality, Satisfaction and Loyalty*. Wiesbaden: Gabler.

Johnson, S. (2019) Quality 4.0: A trend within a trend. *Quality Mag*, (February), pp. 21–24.

Jovanis, M. & Zonnenberg, J. (2020) Partnering for Bio/Pharma Success 2020. *Pharmaceutical Technology*, 5(2), pp. 28–31.

Jugulum, R. (2019) Robust Quality: Powerful Integration of Data Science and Process Engineering. *Quality Management Journal*. Nova York: CRC Press- Taylor & Francis Group.

Junior, I., Cierco, A.A., Rocha, A.V., Mota, E. & Leusin, S. (2010) *Gestão da Qualidade-Série Gestão Empresarial*. 10<sup>a</sup> Edição. Rio de Janeiro, FGV.

Kaczmarczyk, V., Baštán, O., Bradáč, Z. & Arm, J. (2018) An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design. *IFAC PapersOnLine*, 51(6), pp. 263–270. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.07.164.

Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013) Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Frankfurt, Acatech.

Kanagachidambaresan, G.R., Anand, R., Balasubramanian, E. & Mahima, V. (2020) *Internet of Things for Industry 4.0: Design, Challenges and Solutions*. Ghent, Springer.

Kapur, P.K., Kumar, U. & Verma, A. K. (2018) *Quality, IT and Business Operations: Modeling and Optimization*. Singapura: Springer.

Kearney. (2021) Quality 4.0 preventive, holistic, future-proof. [Online]. Disponível em: <https://www.kearney.com/industrial-goods-services/article?/a/quality-4-0-preventive-holistic-future-proof> [Acedido a 20 de abril de 2021].

King, A. (2020) Industry 4.0 Design Principles. [Online]. Disponível em: <https://www.rmit.edu.au/news/c4de/industry-4-0-design-principles> [Acedido em 11 de março de 2021].

Klefsjö, B., Bergquist, B. & Garvare, R. (2008) Quality management and business excellence, customers and stakeholders: Do we agree on what we are talking about, and does it matter? *The TQM Journal*, 20(2), pp. 120-129. doi: 10.1108/17542730810857354.

Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015) Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), pp. 1870–1875. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359

Kovács, G. and Kot, S. (2017) Economic and social effects of novel supply chain concepts and virtual enterprises. *Journal of International Studies*, 10(1), pp. 237–254. doi: 10.14254/2071-8330.2017/10-1/17.

Kumar, M. P., Sahithi, P. & Revanth, S. S. (2020) Industry of quality (IoQ) – An industry 4.0 perspective. *International Journal of Applied Research*, 6(4), pp. 109–114.

Kumar, K., Zindani, D. & Davim, J. P. (2019) Industry 4.0-Developments towards the Fourth Industrial Revolution. Singapura, Springer.

Kacprzyk, J. (2020) New Paradigm of Industry 4.0- Studies in Big Data. Warsaw. Springer.

Kupper, D., Knizek, C., Ryeson, D. & Noecker, J. (2019) Quality 4.0 Takes More Than Technology. *Boston Consulting Group (BCG)*, pp. 1–14. [Online]. Disponível: [https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Quality-4.0-Takes-More-Than-Technology-Aug-2019\\_tcm9-224161.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Quality-4.0-Takes-More-Than-Technology-Aug-2019_tcm9-224161.pdf) [Acedido em 1 de março de 2021].

Kuzmanić, I & Vujović, I. (2015) Reliability and Availability of Quality Control Based on Wavelet Comput Vision. Split: Springer.

Lafrenière, D. (2020) Delivering Fantastic Customer Experience: How to Turn Customer Satisfaction into Customer Relationships. Nova York, Taylor & Francis Group.

Lanteri, A. (2019) *Clever- The six strategic drivers for the Fourth Industrial Revolution*. S.I. Lioncrest.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. & Hoffmann, M. (2014) *Industry 4.0, Business and Information Systems Engineering*. 6(4), pp. 239–242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.

Lasrado, F. & Zakaria, N. (2019) *Internalizing a Culture of Business Excellence: Perspectives from Quality Professionals*. Nova York: Routledge-Taylor & Francis Group.

Leal-Rodríguez, A. L., Ariza-Montes, J. A.A., Roldán, J. L. & Leal-Millán, A. G. (2014) Absorptive capacity, innovation and cultural barriers: A conditional mediation model. *Journal of Business Research*. Elsevier Inc., 67(5), pp. 763–768. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.11.041.

Lee, I. (2017) Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges. *Business Horizons*. Kelley School of Business, Indiana University, 60(3), pp. 293–303. doi: 10.1016/j.bushor.2017.01.004.

Lee, J., Kao, H. A. & Yang, S. (2014) Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment, *Procedia CIRP*, 16 (July), pp. 3–8. doi: 10.1016/j.procir.2014.02.001.

Lee, S. M. (2018) Innovation: from small “i” to large “I”. *International Journal of Quality Innovation*, 4(2). doi:/10.1186/s40887-018-0022-4

Leong, W., Chuah, J. & Tee, B. (2020) *The Nine Pillars of Technologies for Industry 4.0*, Journal of Chemical Information and Modeling. Londres. The Institution of Engineering and Technology.

Lim, J. S. (2020) *Quality Management in Engineering- A Scientific and Systematic Approach*. Londres: CRC Press- Taylor & Francis Group.

Littlefield, M. (2012) What is EQMS? (Enterprise Quality Management Software). [Online] Disponível em: <https://blog.insresearch.com/bid/165626/what-is-eqms-enterprise-quality-management-software> [Acedido em 10 de maio de 2020].

Lopes, A., & Capricho, L. (2007) Manual da qualidade. Lisboa, Recursos Humanos Editora.

Louzada, F., Diniz, C., Ferreira, P. & Ferreira, E. (2013) Controle Estatístico de Processos: Uma abordagem prática para cursos de Engenharia e Administração. Rio de Janeiro, LTC (Livros Técnicos e Científicos).

Lu, Y. (2017) Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*. Elsevier, 6, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005

Mabkhot, M., Al-Ahmari, A., Salah, B. & Alkhalefah, H. (2018) Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. *Machines*, 6(23), pp. 1–22. doi: 10.3390/machines6020023.

Machado, C. G., Winroth, M. P. & Ribeiro da Silva, E. H. D. (2020) Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 58(5), pp. 1462–1484. doi:10.1080/00207543.2019.1652777 .

Mahanti, R. (2019) Data Quality and Data Quality Dimensions. *Software Quality Professional*, 22(1), pp. 4–8.

Malerba, F. (2003) Sectoral Systems and Innovation and Technology Policy. *Revista Brasileira de Inovação*, 2(2), pp. 329–375. doi: 10.20396/rbi.v2i2.8648876.

Malerba, F. and Orsenigo, L. (1996) Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. *Research Policy*, 25(3), pp. 451–478. doi: 10.1016/0048-7333(95)00840-3.

Marquesone R. (2017) Big Data-Técnicas e tecnologias para extração de valor dos dados. São Paulo, Casa do Código

Maximiano, A.C.A. (1995) Introdução à administração. 4<sup>a</sup> Edição. São Paulo, Atlas.

McKinsey Digital. (2015) Industry 4.0-How to navigate digitization of the manufacturing sector. [Online] Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business->

[functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigate-the-digitization-of-the-manufacturing-sector](#) [Acedido em 17 de março de 2020].

Miller, K. (2019) Smart Factory-Smart Quality Management: Industry 4.0 and Quality Management Systems. *IQVIA Quality Compliance*, pp. 1–5.

Mineo, C., Pierce, S. G., Nicholson, P. I., & Cooper, I. (2016) Robotic path planning for nondestructive testing - A custom MATLAB toolbox approach. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 37, pp. 1–12.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F. & Chlamtac, I. (2012) Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), pp. 1497–1516. doi: 10.1016/j.adhoc.2012.02.016.

Mitra, A. (2012) Fundamentals of Quality Control and Improvement. 4ª Edição, Fundamentals of Quality Control and Improvement. 4ª Edição. New Jersey, Wiley.

Montgomery, D. C. (2009) Introduction to Statistical Quality Control. 6ª Edição. Arizona, Wiley.

Morisson, A. & Pattinson, M. (2019) Industry 4.0-A Policy Brief from the Policy Learning Platform on Research and innovation. *Interreg Europe*, (setembro) [Online]. Disponível em: <https://www.interregeurope.eu/> [Acedido em 24 de março de 2020].

Mukherjee, S. P. (2019) Quality: Domains and Dimensions. Springer, Singapura.

Natarajan, D. (2017) ISO 9001 Quality Management Systems. Bangalore, Springer International Publishing.

Nayyar, A. & Kumar, A. (2020) A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. *Advances in Science, Technology and Innovation. Cham*, Springer, pp.1-126.

Nelson-Rowe, L., Kraft, J. & Varney, J. (2016) The ASQ Global State of Quality-Discoveries 2016. APQC, pp. 1–50.

Nenadál, J. (2020) The new EFQM model: What is really new and could be considered as a suitable tool with respect to quality 4.0 concept? *Quality Innovation Prosperity*, 24(1), pp. 17–28. doi: 10.12776/QIP.V24I1.1415.

Nenadál, J., Vykydal, D. & Tylečková, E. (2021) Complex customer loyalty measurement at closed-loop quality management in B2B area—Czech example. *MDPI Sustainability*, 13(5), pp. 1–20. doi: 10.3390/su13052957.

Ngai, W., Gunasekaran, A. & Subramanian, N. (2009) Quality management in the 21st century enterprise: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207, pp. 125-129.

Oakland, J. S. (2003) Total Quality Management-Text with cases. 3ª Edição. Oxford, Elsevier.

Ojo, O. O., Shah, S., Coutroubis, A., Jimenez, M. T. & Ocana, Y. M. (2018) Potential Impact of Industry 4.0 in Sustainable Food Supply Chain Environment. 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2018, (Novembro), pp. 172–177. doi: 10.1109/ITMC.2018.8691223.

Oliff, H. & Liu, Y. (2017) Towards Industry 4.0 Utilizing Data-Mining Techniques: A Case Study on Quality Improvement. *Procedia CIRP*, 63, pp. 167–172. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.311.

Oliveira, J. (2006) Gestão da Qualidade: Introdução à História e fundamentos. São Paulo, Thomson.

Paelke, V. (2014) Augmented Reality in the Smart Factory. 2014 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Lemgo: IEEE, pp. 1–4.

Paladini, E. P., Bouer, G., Ferreira, A., Carvalho, M., Miguel, P. A. C., Samohyl, R. W. & Rotondaro, R. (2012) Gestão da Qualidade-Teoria e Casos. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Elsevier.

Palma, J. M. B., Bueno, U. S., Storolli, W. G., Schiavuzzo, P. L., Cesar, F. I. G. & Makiya, I. K. (2017) Os princípios da Indústria 4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia

de valor empresarial. *International workshop advances in clean production*, 6(5), pp. 1- 8.

Patnaik, S. (2020) New Paradigm of Industry 4.0. *Studies in Big Data*. Springer. Warsaw.

Pereira, L. P. & Requeijo, J. G. (2008) *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. Lisboa, Prefácio.

Petritoli, E., Leccese, F. & Spagnolo, G. S. (2020) In-Line Quality Control in Semiconductors Production and Availability for Industry 4.0. *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2020 - Proceedings*, pp. 665–668. doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138296.

Pfeiffer, S. (2017) The Vision of “Industrie 4.0” in the Making- a case of future told, tamed and traded. *Nanoethics* 11, pp. 107-121.

Piazolo, F., Geist, V. Brehm, L & Schmidt, R. (2017) Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering. *5th International Conference, ERP Future 2016 - Research Hagenberg, Austria, November 14, 2016 Revised*. Cham, Springer.

Phil, D., Hackert, P., Huntington, M., Liang, D. & Makarova, E. (2021) Transforming quality and warranty through advanced analytics. [Online] *McKinsey*. Disponível: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/transforming-quality-and-warranty-through-advanced-analytics> [Acedido em 25 de maio de 2021].

Plattform Industrie 4.0. (2015) *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. BITKOM. [Online]. Disponível: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2015/Leitfaden/Umsetzungsstrategie-Industrie-40/150410-Umsetzungsstrategie-o.pdf> [Acedido em 14 de Novembro de 2020].

Plattform Industrie 4.0. (2021) What is industrie 4.0? [Online] Disponível: <https://www.plattform->

[i40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html](https://www.pi40.de/PI40/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html) [Acedido em 16 de março de 2020].

Psarommatis, F., May, G., Dreyfus, P. & Kiritsis, D. (2019) Zero defect manufacturing: state-of-the-art review, shortcomings and future directions in research, *International Journal of Production Research*, 58, pp. 1–17. doi: 10.1080/00207543.2019.1605228.

Pyzdek, T. & Keller, P. (2013) *The Handbook for Quality Management-A Complete Guide to Operational Excellence*. 2ª Edição. Nova York, McGraw-Hill.

Popkova, E. G., Ragulina, Y. & Bogoviz, A. (2019) *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*. Studies in Systems, Decision and Control. 1ª edição. Cham, Springer.

PWC. (2016) Industry 4.0: Building the digital enterprise. *Global Industry 4.0 Survey – Industry key findings Industry* [Online]. Disponível: [www.pwc.com/industry40](http://www.pwc.com/industry40) [Acedido em 17 de março de 2021].

Quality Magazine. (2018) Industry and Quality 4.0: Bringing Them Together. [Online]. Disponível:<https://www.qualitymag.com/articles/95011-industry-and-quality-40-bringing-them-together> [Acedido em 27 de abril de 2021].

Qualidade & Inovação. (2021) Sobre a qualidade e a inovação. [Online]. Disponível: <https://www.revistaqualidadeinovacao.pt/sobre/> [Acedido a 27 de abril de 2021].

Qin, J., Liu, Y. & Grosvenor, R. (2016) A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, pp. 173–178. doi: 10.1016/j.procir.2016.08.005.

Radziwill, N. M. (2020) *Connected, Intelligent, Automated: The Definitive Guide to Digital Transformation and Quality 4.0*. 1st Edition. Milwaukee, Quality Press.

Radziwill, N. (2018) Let's Get Digital: The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. *ASQ*, 51(10), pp. 1–10.

Rajagopal & Behl, R. (2020) *Innovation, technology, and market ecosystems: Managing industrial growth in emerging markets*. Cham, Palgrave Macmillan.

- Rajola, F. (2013) *Customer Relationship Management in the Financial Industry Organizational: Organizational Processes and Technology Innovation*. 2ª Edição. Berlim., Springer
- Ralea, C., Dobrin, O., Barbu, C. & Tanase, C. (2019) Looking to the future: Digital Transformation of Quality Management. *Proceedings of the 13th International Management Conference-Management Strategies for High Performance*. Bucharest, pp. 121–132.
- Ranger, S. (2020) What is the IoT? Everything you need to know about the Internet of Things right now. [Online]. Disponível em: <https://www.zdnet.com/article/what-is-the-internet-of-things-everything-you-need-to-know-about-the-iot-right-now/> [Acedido em 17 de maio de 2020].
- Ramezani, J. & Jassbi, J. (2020) Quality 4.0 in action: Smart hybrid fault diagnosis system in plaster production. *Processes*, 8(634), pp. 1–29. doi: 10.3390/PR8060634.
- Reedy, S. (2019) Quality 4.0 is reshaping product development. *Plant Engineering*, 73(10), pp. 30–31.
- Reinhard, G., Jesper, V., & Stefan, S. (2016) Industry 4.0: Building the digital enterprise. *Global Industry 4.0 Survey*, pp. 1–39. doi: 10.1080/01969722.2015.1007734
- Reis, J., Pinelas, S & Melão, N. (2019) *Industrial Engineering and Operations Management II: XXIV IJCIEOM*. Lisboa, Springer.
- Reynolds, V. (2016) *Big Data for Beginners*. Rio de Janeiro, Elsevier.
- Righi, R., Alberti, A.M. & Singh, M. (2020) *Blockchain Technology for Industry 4.0 Secured, Decentralized, Distirbuted and Trusted Industry Enviroment*, 1<sup>st</sup> Edition. Singapore, Springer.
- Rodrigues, M. (2014) *Ações para a Qualidade*. Rio de Janeiro, Elsevier.
- Rojko, A. (2017) Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11, pp. 77–90. doi: 10.3991/ijim.v11i5.7072.

Rowlands, H. & Milligan, S. (2021) Quality-driven Industry 4.0. Key Challenges and Opportunities for Quality, Sustainability and Innovation in the Fourth Industrial Revolution. Singapura: World Scientific Books, pp. 3–30.

Russmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P. & Harnisch, M. (2015) Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *The Boston Consulting Group*, pp. 1–20.

Sadeghi, A., Wachsmann, C. & Waidner, M. (2015) Security and Privacy Challenges in Internet of Things. *Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics*. São Francisco, IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553919 .

Sader, S., Husti, I. and Daroczi, M. (2019) Quality Management Practices in the Era of Industry 4.0. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie*, 35(1), pp. 117–126. doi: 10.17512/znpcz.2019.3.10.

Sampaio, P. & Saraiva, P. (2016) Quality in the 21st Century-Perspectives from ASQ Feigenbaum Medal Winners, 1<sup>st</sup> Edition. Genebra, Springer International Publishing.

Saraiva, P. (2017) A qualidade do Futuro dos Profissionais da Qualidade. *Revista Qualidade*, 2, pp. 14–20

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009) Research Methods for Business Students, 5th Edition. Londres, Financial Times -Hall.

Schlaepfer, R., Koch, M. & Merkofer, P. (2015) Industry 4.0- Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Deloitte*, pp. 1–28. doi: 10.4324/9781315300412-3.

Schwab, K. (2016) The Fourth Industrial Revolution. Genebra, *World Economic Forum*. [Online]. Disponível: [https://law.unimelb.edu.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/3385454/Schwab-The\\_Fourth\\_Industrial\\_Revolution\\_Klaus\\_S.pdf](https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf) [Acedido em 22 de fevereiro de 2021].

Schwab, K. (2019) Moldando a Quarta Revolução Industrial. Genebra, Levoir.

Schwab, K. (2020) The Fourth Industrial Revolution. [Online]. s.n. Disponível: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab/> [Acedido em 23 de fevereiro de 2021].

Siebels, D. (2004) The quality improvement glossary. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Silva, J. P. C. & Machado, F. O. (2011) A Qualidade como estratégia empresarial: um estudo conceitual. *Gepro*, 03, pp. 1- 12.

Skilton, M. & Hovsepian, F. (2018) The 4th Industrial Revolution-Responding to the Impact of Artificial Intelligence on Business. 1<sup>st</sup> Edition. Warwick: Palgrave Macmillan.

Sony, M., Antony, J. & Douglas, J. A. (2020) Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0. *The TQM Journal*, 32(4), pp. 779–793. doi: 10.1108/tqm-12-2019-0275

Sreenivasan, S. (2021) Quality 4.0 – road to excellence in the digital world. [Online]. *KPMG*. Disponível: <https://home.kpmg/in/en/home/insights/2021/02/quality-4-0-road-to-excellence-in-digital-world.html> [Acedido em 4 de maio de 2021].

Stock, T., & Seliger, G. (2016) Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, pp. 536–541. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>

Szajna, A. Stryjski, R., Wozniak, W., Chamier-Gliszczynski, N. & Królikowski, T. (2020) The production quality control process, enhanced with augmented reality glasses and the new generation computing support system. *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 176(24), pp. 3618–3625. doi: 10.1016/j.procs.2020.09.024.

Tague, N. R. (2005) The Quality Toolbox. 2<sup>nd</sup> Edition. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Tamás, P. (2016) Application of value stream mapping at flexible manufacturing systems. *Key Engineering Materials*, 686 (February), pp. 168–173. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.686.168.

Tassel, L. (2019) Why strive for Industry 4.0. [Online]. Disponível: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/why-companies-should-strive-for-industry-4-0/> [Acedido em 15 março de 2021].

Tempo Automation. (2021) What is Quality 4.0 and How Does it Impact Industrial PCB Development? . [Online]. Disponível: <https://www.tempoautomation.com/blog/what-is-quality-4-0-and-how-does-it-impact-industrial-pcb-development/> [Acedido em 26 maio de 2021].

Tomic, B. (2020) Inspection in Quality 4.0: Digitization and automation will ensure better quality. [Online]. Disponível: <https://www.qualitymag.com/articles/96120-inspection-in-quality-40> [Acedido em 26 abril de 2021].

Troy, W., Evans, R., McChrystal, S., Zittrain, J., Rosen, S., Davis, J., Matte, I., Shetty, D., Sternke, J., Mingguang, Z., Watson, G., Watson, A., Snee, R., Hoerl, R., Kano, N. & Kimberlin, C. (2015) Future of Quality Report: Quality Throughout. [Online]. ASQ, pp. 1–86. Disponível em: <http://asq.org/future-of-quality/> [Acedido em 18 fevereiro 2021].

Tulip Interfaces. (2020) What is Industry 4.0? . [Online]. Disponível: <https://tulip.co/resources/industry-4-0/> [Acedido em 24 de fevereiro de 2021].

Tulip. (2020) Quality Management in the Digital Era: A Complete Guide for Manufacturers. *Tulip Interfaces*. [Online]. Disponível: <https://tulip.co/resources/quality-management/> [Acedido em 14 de abril de 2021].

UNIDO. (2021) Industry 4.0-Training academy. [Online]. Disponível: <https://tii.unido.org/training-modules-industry-4> [Acedido em 15 de março de 2021].

UNUC. (2021) Why Work in Cyber Security? .[Online]. Disponível: <https://www.umgc.edu/academic-programs/cyber-security/about.cfm> [Acedido em 15 de março de 2021].

Ustundag, A. & Cevikcan, E. (2018) Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Birmingham, Springer. pp. 3-41.

Vasiliev, V. A., Aleksandrova, S. V., Aleksandrov, M. N. & Velmakina, Yu V. (2019) Possibilities for the Integration of Quality Management Tools and Methods with Digital

Technologies. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2020(13), pp. 1649–1652. doi: 10.1134/S003602952013039X.

Weckenmann, A., Akkasoglu, G. and Werner, T. (2015) Quality management – history and trends. *The TQM Journal*, 27 (3), pp. 281-293 doi: 10.1108/TQM-11-2013-0125

Wehberg, G. G. (2021) Digital Supply Chains- Key Facilitator to Industry 4.0 and New Business Models. 3<sup>rd</sup> Edition. Nova York, Routledge.

Wereda, W. & Woźniak, J. (2019) Building relationships with customer 4.0 in the era of marketing 4.0: The case study of innovative enterprises in Poland. *MDPI Social Sciences*, 8(177), pp. 1–27. doi: 10.3390/socsci8060177.

Westcott, R. T. and Duffy, G. L. (2015) The Certified Quality Improvement Associate Handbook- Basic Quality Principles and Practices. 3<sup>rd</sup> Edition. Milwaukee, ASQ Quality Press.

Wood, D. C. (2013) Principles of Quality Costs-Financial Measures for Strategic Implementation of Quality Management. 4<sup>th</sup> Edition. Milwaukee, ASQ Quality Press.

World Economic Forum. (2020) Fourth Industrial Revolution. [Online]. Disponível: <https://www.weforum.org/focus/fourth-industrial-revolution> [Acedido em 23 fevereiro 2021].

World Economic Forum. (2018) Here's how India can soar in the Fourth Industrial Revolution. [Online]. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/09/inthe-fourth-industrial-revolution-india-could-become-a-global-power-heres-how/> [Acedido em 05 de Dezembro de 2020].

World Economic Forum. (2021) The Evolving Data Landscape. [Online]. Disponível: <https://reports.weforum.org/data-driven-development/the-evolving-data-landscape/> [Acedido em 22 abril 2021].

Yen, C. T., Liu, Y. C., Lin, C. C., Kao, C. C., Wang, W. B. & Hsu, Y. R. (2014) Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies. *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*. IEEE, 18(22), pp. 1150–1152. doi: 10.1109/CoASE.2014.6899471 .

Ying, R. K. (2019) *Case Study Research-Design and Methods*, 4<sup>th</sup> Edition. Londres, Sage Publication.

Zaidin, N. H. M., Diah, M. N. M. & Sorooshian, S. (2018) Quality Management in Industry 4.0 Era. *Journal of Management and Science*, 8(2), pp. 82–91. doi: 10.26524/jms.2018.17.

Zairi, M. (1996) *Benchmarking for Best Practice: Continuous learning through sustainable innovation*. Butterworth-Heinemann. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Zonnenshain, A. & Kenett, R. S. (2020) Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*. Taylor & Francis, 32(4), pp. 614–626. doi: 10.1080/08982112.2019.1706744.