

Qualidade 4.0
Influência das tecnologias I4.0 na melhoria da
Qualidade
Versão final após discussão

Irene da Conceição Sangulo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2^o ciclo de estudos ou mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos
Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar

agosto de 2021

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha mãe Anabela pelo amor, carinho e dedicação que sempre teve por mim, pelas suas palavras de motivação e encorajamento nos momentos em que eu mais precisei. A Marinela Nkombo por estar sempre ao meu lado, por toda ajuda e amizade, por todos os momentos maus e bons vividos e que apesar de tudo continuamos juntas e unidas.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus Pai Todo Poderoso por me conceder a vida e forças para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof Doutor Fernando Santos, pela orientação prestada, pelo seu incentivo, disponibilidade e igualmente pelo seu apoio na elaboração desta dissertação. À Daisy Valle Enrique, aluna de doutoramento, pela ajuda e simpatia, pois o seu apoio foi fundamental ao longo da realização deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudo (INAGBE), pela oportunidade que me foi dada.

Agradeço a minha amiga Ayosvani Pedro pela sua ajuda, disponibilidade e atenção durante o processo da elaboração desta dissertação. Ao meu namorado Neidynilson pelo apoio moral, amor, carinho e atenção especial dada durante este percurso. Aos meus amigos.

Por fim á minha família e em especial a minha mãe querida, por nunca terem desistido de mim, pelo apoio e o carinho que me proporcionaram ao longo da minha formação que apesar da distância sempre estiveram comigo.

Na verdade, nenhuma correção parece no momento ser motivo de gozo, porém de tristeza; mas depois produz um fruto pacífico de justiça nos que por ele têm sido exercitados.

Hebreus 12:11

Resumo

A Qualidade 4.0 é um conceito recente dentro da 4^o Revolução Industrial ou simplesmente a Indústria 4.0 que é o produto de uma fusão de tecnologias aplicadas ao ambiente de produção, entre elas os CPS, a IoT, a *Internet of Services* (IoS), veículos autônomos, impressoras 3D, robôs avançados, inteligência artificial, Big Data, nanomateriais e nanosensores, a combinação destas tecnologias têm potencial para habilitar as chamadas *Smart Factories*, capazes de fabricar produtos de forma mais eficiente com a comunicação e integração entre máquinas, pessoas e recursos, nessas “fábricas inteligentes”. Com a alteração rápida dos cenários em ambientes organizacionais em termos de políticas, ferramentas faz com que os seus líderes procurem acompanhar esta evolução para que possam atender a procura do mercado, satisfazer os seus clientes com melhor qualidade de produto e serviço a preços baixos.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo estudar de que formas as ferramentas associadas à Indústria 4.0 podem potenciar o controlo da qualidade. Trata-se de um estudo qualitativo, que recorre ao método da revisão sistemática de literatura. O período de pesquisa definido foi artigos publicados a partir de 2016, contudo, dada a pertinência dos artigos, este estudo contempla artigos publicados nos últimos dois anos (2019-2020) e consultados nas bases de dados Scopus, Web of Science e ScienceDirect. Ao todo, foram contemplados 10 artigos. Os resultados foram claros, concluindo-se que as ferramentas da qualidade são importantes para a Indústria 4.0, tendo acompanhado a evolução das sociedades e a própria evolução tecnológica.

Palavras-chave

Indústria 4.0; Qualidade; Qualidade 4.0; Tecnologias digitais.

Abstract

Quality 4.0 is a recent concept within the 4th Industrial Revolution or simply Industry 4.0 that is the product of a fusion of technologies applied to the production environment, including CPS, IoT, Internet of Services (IoS), autonomous vehicles, 3D printers, advanced robots , artificial intelligence, big data, nanomaterials and nanosensors, the combination of these technologies has the potential to enable so-called smart factories, capable of producing products more efficiently with the communication and integration between machines, people and resources, in these "smart factories" . With the rapid change of scenarios in the organizational environments in terms of policies, the tools make their leaders seek to follow this evolution so that they can meet the market demand, satisfy their customers with better quality of products and services at low prices.

In this sense, the present work aims to study how the tools associated with industry 4.0 can improve quality control. This is a qualitative study, which uses the systematic literature review method. The defined research period was for articles published from 2016, however, given the relevance of the articles, this study includes articles published in the last two years (2019-2020) and consulted in the Scopus, Web of Science and ScienceDirect databases. Altogether, 10 articles were contemplated. The results were clear, concluding that quality tools are important for industry 4.0, which has followed the evolution of societies and technological evolution itself.

Keywords

Industry 4.0;Quality;Quality 4.0;Digital technologies.

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Acrónimos	xix
1 Introdução	1
1.1 Objetivos e Motivação	3
1.2 Metodologia	4
1.3 Estrutura da Dissertação	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Qualidade	5
2.1.1 Evolução e Eras da Qualidade	8
2.1.2 Gestão da Qualidade	13
2.1.2.1 Princípios da Gestão da Qualidade	15
2.1.3 Práticas da Qualidade	17
2.2 Indústria 4.0	19
2.2.1 Caracterização da Indústria 4.0	20
2.2.2 Principais Tecnologias	22
2.2.2.1 Cyber-Physical Systems (CPS)	22
2.2.2.2 Internet of Things (IoT)	24
2.2.2.3 Big Data	26
2.2.2.4 Cloud Computing	26
2.2.2.5 Impressão 3D	27
2.2.2.6 Robótica Colaborativa	28
2.2.2.7 Realidades Virtual e Aumentada	28
2.2.2.8 RFID / Rastreabilidade Industrial	29
2.3 Qualidade 4.0 e sua Relação com as Tecnologias da Indústria 4.0	30
3 Metodologia de Pesquisa	33
4 Resultados	37

5 Conclusões	45
Referências Bibliográficas	47

Lista de Figuras

Figura 1 - O Ciclo da Qualidade. Fonte: Pires (2007, p. 26).....	
Figura 2 - Ondas da Gestão da Qualidade. Fonte: Paladini et al. (2012).	9
Figura 3 - Revoluções Industriais. Fonte: Santos et al. (2018).	20
Figura 4 - Os Nove Pilares da Indústria 4.0. Fonte: Mata et al. (2018).	22
Figura 5 - Sinergia entre CPS 3C. Adaptação do autor. Fonte: Cheng et al. (2016).	23
Figura 6 - Aplicação da IoT. Fonte: Khan et al. (2017).....	25
Figura 7 - Infraestrutura de Computação em Nuvem.	27
Figura 8- Eixos da Qualidade.....	30
Figura 9-Fluxograma da Prisma.....	34

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Evolução do Conceito da Qualidade.....	7
Tabela 2- Eras da Qualidade.....	11
Tabela 3 - Abordagens da Qualidade.....	12
Tabela 4 - Componentes da PCC	33
Tabela 5 - Critérios de Seleção dos Estudos	34
Tabela 6 - Bases de Dados e Respetivos Estudos	35
Tabela 7 - Estudos Incluídos na RSL.....	37
Tabela 8 -Relação das Ferramentas da Qualidade com as Tecnologias 4.0.....	42

Lista de Acrónimos

3D – Três Dimensões

5W2H – 5 W (*What, Why, When, Where, Who*), 2H (*How, How much*)

BD – *Big Data*

CPPS – *Cyber-Physical Production Systems* (em português, Sistemas de Produção Ciber-Física)

CPS – *Cyber-Physical System* (em português, Sistemas Ciber-Físicos)

HMI – Human-Machine Interaction (em português, Interação Homem-Máquina)

IoD – Internet of Date

IoS – *Internet of Services*

IoT – *Internet of Things* (em Português, Internet das Coisas)

IPQ – Instituto Português da Qualidade

ISO – *International Standard Organization*

JIT – *Just in Time*

LSS – *Lean Six Sigma*

NP – Norma Portuguesa

PCC – Problema ou População; Conceito, Contexto

PDCA – *Plan-Do-Check -Act*

PIB – Produto Interno Bruto

RFID – *Radio Frequency Identification* (em português, Identificação de Rádio Frequência)

RSL – Revisão Sistemática de Literatura

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

TCQ – *Total Quality Control*

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System* (em português, Sistema Toyota de Produção)

TQM – *Total Quality Management*

Capítulo 1

Introdução

Dada a necessidade de satisfazer os requisitos dos clientes bem como melhorar o processo de uma determinada linha de produção, várias empresas têm buscado soluções para satisfazer essas necessidades recorrendo à gestão da qualidade dos seus processos e produtos. Gerir a qualidade dos produtos passou a ser essencial para agregar valores às empresas, diminuição dos erros nos produtos acabados, e buscar no cliente a sua principal fonte de inspiração e conseqüentemente aumentar a produtividade (Yamada et al., 2013).

Com a alteração rápida dos ambientes organizacionais em termos de políticas e ferramentas faz com que os seus líderes procurem acompanhar esta evolução para que possam atender à procura do mercado, satisfazer os seus clientes com melhor qualidade de produto e serviço a preços baixos, mas para isso as empresas devem possuir: qualidade, redução dos prazos de entrega, confiabilidade, flexibilidade para alterar o produto ou o processo de fabricação e custos reduzidos, as empresas com alta capacidade competitiva têm adotado novos métodos de gestão da qualidade e novas tecnologias que resultem numa melhor tomada de decisão e garantam a estabilidade dos processos (Sousa et al.,2014). Nesse sentido percebe-se um grande interesse por parte das empresas em implementar as novas tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0), como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Cloud Computing, as quais prometem trazer várias vantagens em termos de eficiência de produção, qualidade do produto e redução de custos (Carvalho et al., 2021)

A Indústria 4.0 a quarta revolução industrial, o que leva a uma solução inteligente, conectada e descentralizada da produção, com um objetivo geral de aumentar a eficiência de custo e tempo, e melhorar a qualidade do produto, o que requer um amplo entendimento das tecnologias facilitadoras, bem como métodos e ferramentas (Albers et al. 2016). Na Indústria 4.0 as máquinas usam auto-otimização, auto-configuração e até mesmo inteligência artificial para completar tarefas complexas, a fim de proporcionar eficiências de custo muito superiores e bens ou serviços de melhor qualidade, através da implementação generalizada de sensores no ambiente de produção, os mundos físico e virtual fundem-se, dando origem aos Cyber Physical Systems (CPS). Os sistemas conectados através da Internet of Things (IoT) interagem uns com os outros, usando

protocolos padrão baseados na internet, e analisam dados para prever falhas e adaptar-se às mudanças, nesse contexto, CPS compreendem objetos “inteligentes” (máquinas, produtos ou dispositivos) que trocam informações de forma autônoma, funcionando em colaboração com o mundo físico ao seu redor. Os produtos “inteligentes”, identificados através de chips RIFD (Radio-Frequency Identification), fornecem informações sobre sua localização, histórico, status e rotas, e essas informações permitem que as estações de trabalho “conheçam” quais as etapas de fabricação devem ser realizadas para cada produto e se adaptem para executar uma tarefa específica. Tudo é facilitado pela IoT, a qual conecta todos os dispositivos a uma rede de internet, possibilitando o intercâmbio de informações em tempo real, (Santos et al, 2018).

O desenrolar do desenvolvimento industrial acarreta várias etapas, essa nova era chama-se Indústria 4.0, trouxe consigo mudanças significativas no ambiente industrial, alterações na maneira de processar dados das linhas de fabricação, processos de design, implementação de tecnologias, a digitalização e novos serviços com intuito de melhorar a performance das empresas, aumentando assim a produtividade das mesmas, redução dos custos, melhorar a qualidade do produto e agregar valor ao satisfazer os requisitos dos clientes (Teles, 2017). E estas novas tecnologias interferem no sistema de gestão de qualidade devido à sua complexidade, mas tem que se assegurar os mesmos parâmetros de qualidade para o desenvolvimento de muitos produtos em simultâneo com o foco nos requisitos do cliente. A partir desse novo contexto indústria surge a questão de onde estamos na jornada de qualidade e até que ponto práticas e métodos de gestão da qualidade absorveram mudanças nos estágios de desenvolvimento do produto, redução do tempo de ciclo e os esforços dos funcionários para atender à demanda e às expectativas dos clientes na era da Indústria 4.0. O problema de investigação, da forma mais clara e simples possível, corresponde ao ponto de partida de toda e qualquer investigação (Fortin, 2003). Assim sendo, no presente estudo, o problema em causa e o qual é investigado subordina-se às formas como as ferramentas associadas à indústria 4.0 podem estimular e potenciar o controlo da qualidade, reconhecendo-se que a qualidade é extremamente importante para as empresas, não só para a sua sobrevivência, mas, acima de tudo, para o seu sucesso e prospeção. Isto porque, atualmente, as empresas não se podem preocupar, exclusivamente, com o cliente, este é importante, mas também os recursos humanos o são, desde o mais baixo nível da hierarquia ao mais alto nível. Desta forma, as empresas devem, também, considerar os seus recursos humanos como um importante e valioso ativo da empresa. Na verdade, são os recursos humanos que fazem, estruturam e dinamizam a empresa, pois, sem eles, mesmo com o melhor projeto do mundo, uma empresa não avança, nem progride.

Perante o exposto, e assumindo que a pergunta de investigação se traduz num “enunciado interrogativo claro e não equívoco que precisa os conceitos-chave, especifica a população alvo e sugere uma investigação empírica” (Fortin, 2003, p. 51), apraz referir que a pergunta de investigação, ou seja, a pergunta à qual se procura responder por meio da realização do presente estudo, é: Quais são as tecnologias da I4.0 utilizadas na gestão da qualidade?

Assim este trabalho visa entender como as tecnologias da Indústria 4.0 poderão suportar os processos de gestão da qualidade dentro das empresas, aumentando a confiabilidade do processo, produtos e serviços.

1.1 Objetivos e Motivação

O presente estudo, tem como objetivo geral estudar de que formas as ferramentas associadas à Indústria 4.0 podem potenciar o controlo da qualidade.

Por seu lado, torna-se imperativo fazer referência aos objetivos específicos, os quais correspondem às metas definidas a curto prazo e que contribuem para o alcance do objetivo geral, pelo que se assumem como uma desconstrução do objetivo geral (Sousa e Baptista, 2011). Nesta linha de pensamento, os objetivos específicos que orientaram esta investigação foram:

1. Identificar as principais ferramentas associadas ao controlo da qualidade;
2. Identificar e conhecer quais as tecnologias da Indústria 4.0 associadas à gestão da qualidade;
3. Analisar a partir de casos como as tecnologias da Indústria 4.0 impactam na qualidade.

A escolha do tema foi motivada pela necessidade e busca constante da qualidade, o desejo de satisfazer os requisitos dos clientes e a melhoria contínua da produção, várias empresas recorrem a gestão da qualidade processos e produtos. E com isso perceber como se enquadrariam os parâmetros e ferramentas da qualidade já existentes dentro dessa nova era industrial com novos produtos e serviços, como é que estas novas tecnologias poderiam ser impactantes para a área da qualidade.

1.2 Metodologia

A realização do trabalho foi feita através de uma análise de vários artigos científicos que se consideraram relevantes, obtidos nas bases de dados Scopus; Web of Science; Science Direct com os termos “quality control” OR “quality management” OR “quality inspection” AND “industry 4.0” OR “digital technology”. Estes foram filtrados por tipo de idioma (inglês e português), o tipo de documento (artigos), títulos dos artigos, eliminação dos artigos duplicados, e posterior análise e leitura dos resumos com finalidade de verificar a relevância para este estudo e a seguir fez-se a leitura completa dos textos dos artigos selecionados. A abordagem utilizada nesta metodologia é do tipo qualitativa, focada na recolha de estudos já publicados, que abordaram o tema, de modo, a aprimorar a pergunta de pesquisa durante o processo de interpretação destes, através de uma revisão sistemática de literatura.

1.3 Estrutura da Dissertação

No que diz respeito à estrutura do trabalho, este encontra-se organizado em cinco capítulos, contendo o presente capítulo introdutório. O primeiro capítulo onde é feita a apresentação do trabalho realizado, os objetivos do estudo e a motivação, o método adotado e a estrutura da dissertação. Em seguida no capítulo 2 encontra-se a fundamentação teórica, a cerca da qualidade e da Indústria 4.0. No capítulo 3 onde se apresenta o método usado. No capítulo 4 encontram-se os resultados da pesquisa e o parecer sobre os estudos realizados nos artigos obtidos através da revisão sistemática da literatura. As conclusões são apresentadas no capítulo 5.

Capítulo 2 - Fundamentação Teórica

2.1 Qualidade

O termo qualidade está, cada vez mais, em destaque, pelo que a qualidade é considerada universal, reconhecendo-se que esta afeta a vida de cada indivíduo, assim como de cada organização de forma positiva (Gomes, 2004).

A qualidade existe desde o princípio da criação das coisas, pois o homem sempre buscou o que mais se adequasse às suas necessidades, desde as coisas materiais, intelectuais, sociais e até mesmo espirituais, em suma a qualidade está em toda a parte, desde a relação entre cliente-fornecedor até a sociedade em geral (Barçante, 2013). Como Longo (1996, p. 7) salienta, “a preocupação com a qualidade de bens e serviços não é recente. Os consumidores sempre tiveram o cuidado de inspecionar os bens e serviços numa relação de troca”.

O conceito de qualidade e os seus sistemas de gestão não é tão atual, desde os tempos primórdios está em constante evolução na busca de resultados, evolução essa que levou a mesma a ser entendida com uma estratégia competitiva para a conquista do mercado e com isso reduzir os desperdícios. O Instituto Português da Qualidade (IPQ), através da norma portuguesa (NP) NP EN ISO 9000: 2000, revista pela NP EN ISO 9000: 2005, define a qualidade como o “grau de satisfação de requisitos dado por um conjunto de características intrínsecas de um objeto” (IPQ, 2015) e por isso mesmo, relaciona-se com a capacidade de um conjunto de características inerentes ao produto, sistema ou processo, responder às necessidades dos clientes e dos restantes interessados.

A qualidade é um fator de diferenciação das empresas, nos serviços prestados bem como nos produtos que são produzidos (Andrade, 2018). Portanto, sendo um fator determinante e que pode destacar as empresas, a qualidade diz respeito à “determinação do cliente (...) baseia-se na experiência atual do cliente com o produto ou serviço, medida relativamente aos seus requisitos – declarados ou não declarados, conscientes ou meramente sentidos, tecnicamente operacionais ou inteiramente subjetivos – representando sempre um objetivo dinâmico num mercado competitivo” (Feigenbaum, 1991, p. 7).

Pires (2007) debruçou-se sobre o assunto da qualidade, apresentando o ciclo da qualidade em que esta tem o objetivo de satisfazer o cliente. Atente-se à figura que se segue.

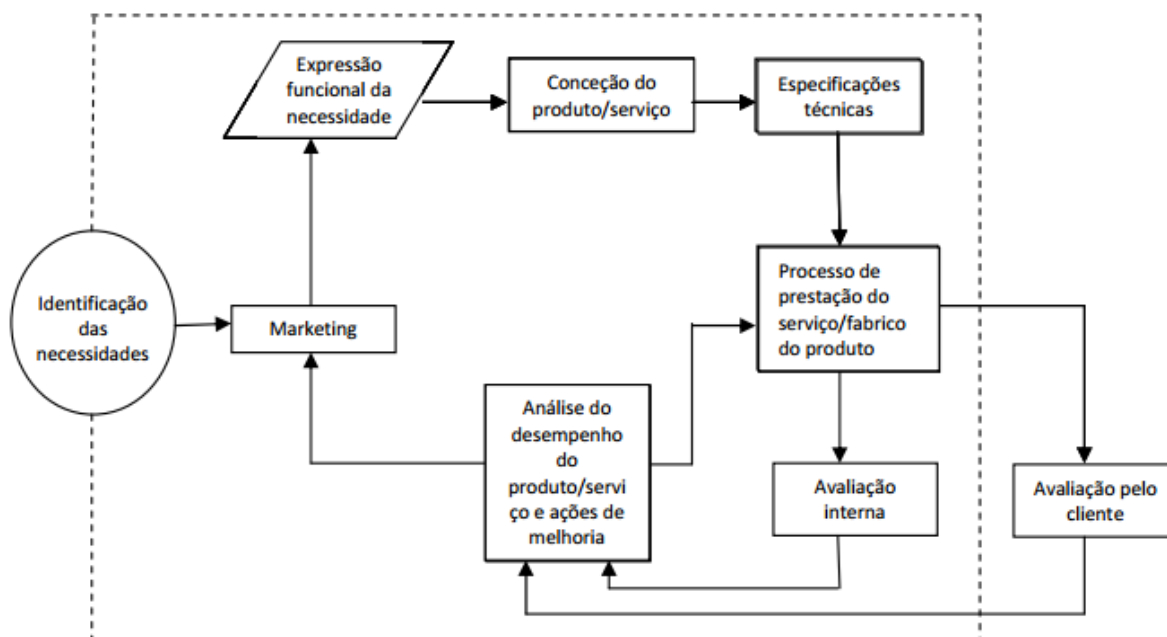


Figura 1 - O Ciclo da Qualidade. Fonte: Pires (2007, p. 26).

Segundo Martins e Costa Neto (1998) o conceito da qualidade evoluiu da adequação ao padrão, para a adequação às necessidades dos clientes como explicado na tabela 1, e que a gestão da qualidade não ficou para atrás, seguiu esta evolução ela estava voltada para o chão de fábrica e passou a envolver todos os processos da organização com isso a gestão da qualidade total tornou-se importante para todas as organizações que conseguirem vantagens competitivas sobre os concorrentes.

Tabela 1 - Evolução do Conceito da Qualidade

Conceito da qualidade	Objetivo	Diretrizes
<i>Adequação ao padrão</i>	Definir qualidade como o produto que faz o que os projetistas pretendem que ele faça.	Padronização atendendo aos interesses do produtor e controle do produto.
<i>Adequação ao uso</i>	Definir qualidade como o produto que pode ser usado exatamente como os clientes querem utilizá-la.	Padronização atendendo aos interesses do consumidor e controle do produto.
<i>Adequação de custo</i>	Acrescentar à adequação do produto sua obtenção a custos competitivos.	Deslocamento do controle do produto através da inspeção para o controle dos processos. Remoção de barreiras funcionais e hierárquicas.
<i>Adequação às necessidades latentes</i>	Atender às necessidades dos clientes antes que eles estejam cômicos dessas necessidades.	Integração com os clientes através de sistemática revisão e análise crítica de suas necessidades.
<i>Adequação às expectativas dos acionistas e de mercados maduros</i>	Satisfazer o cliente através do reconhecimento do valor do produto, com melhor utilização das vantagens competitivas.	Desenvolvimento de planos da qualidade orientados pelo planejamento estratégico e de gestão.

Fonte: Andrade (2018).

Segundo Gomes (2004) a qualidade é composta por diferentes facetas e são elas que permitem pensar e discutir a qualidade de um modo mais preciso:

- *Performance*: Medida de desempenho do produto a nível das principais funções (por exemplo, a capacidade de focagem de uma máquina fotográfica);
- *Funcionalidades do produto*: Conjunto de funções secundárias que complementam a oferta do produto (por exemplo, o sistema de navegação);
- *Fiabilidade*: Probabilidade de o produto deixar de funcionar de forma adequada num determinado período de tempo (tempo médio até que ocorra uma falha);
- *Conformidade*: Medida do nível de adequação do produto às suas especificações. Reflete a perspectiva de Deming, Juran, serve de base ao controlo estatístico do processo;

- Durabilidade: Medida do tempo de vida do produto em termos técnicos ou até ao momento em que a reparação deixa de ser eficiente do ponto de vista económico;
- Serviço: Inclui a rapidez, a cortesia, a competência e a facilidade em reparar o produto;
- Aparência: Refere-se à estética ou apelo sensorial do produto;
- Imagem: Refere-se a uma perceção subjetiva de qualidade associada à marca do produto.

No mesmo sentido, também Ferreira (1991, pp. 95-96) identificou oito dimensões que estão presentes e estruturam a qualidade, indo ao encontro da perspetiva de Garvin (1987): a performance, as características, a fiabilidade, a conformidade, a durabilidade, o serviço, a estética e a qualidade percebida.

2.1.1 Evolução e Eras da Qualidade

Segundo Barçante (2009), no final do segundo milénio a busca da Qualidade total nas empresas e isso foi dado como um fator de sobrevivência e competitividade. Além disso, ainda segundo o mesmo autor, hoje, é necessário compreender melhor essa evolução do conceito Qualidade, é necessário analisar “de onde viemos” para se entender “onde estamos” e com isso, então, perceber “para onde vamos” nessa caminhada da evolução da Qualidade no mundo.

Também é importante conhecer aqueles que se dedicaram a estudar o tema e que contribuíram, em muito, para a evolução da qualidade em termos de conceitos e práticas muito utilizadas pelas empresas em geral e que fazem parte do dia a dia das mesmas. Assim sendo, na figura 2 está ilustrada a trajetória da evolução da qualidade, e citar-se-á a seguir estas contribuições, (Andrade, 2018)



Figura 2 - Ondas da Gestão da Qualidade. Fonte: Paladini et al. (2012).

- William Edwards Deming, um dos mais conhecidos investigadores durante a evolução, desenvolveu um sistema para controlo estatístico da qualidade. A sua filosofia é baseada em princípios que são adotados em todos os níveis da organização, com ênfase no comprometimento e nas ações de gestão das organizações e na consciencialização da necessidade de melhoria contínua;
- Joseph M. Juran, é considerado o pioneiro da qualidade com aplicação da mesma à estratégia empresarial. Acredita que o conceito da qualidade está em mudanças e que os ocidentais precisam adotar os princípios da Qualidade japonesa. Esta teoria é denominada de “trilogia de Juran” e é composta por: Controlo da Qualidade; Aprimoramento da Qualidade; Planeamento da Qualidade. Segundo este teórico, os processos de negócio eram a maior e a mais negligenciada oportunidade de melhoria nas próprias empresas;
- Armand Feigenbaum, o criador do controlo da qualidade total (TCQ, do inglês, *Total Quality Control*), usando uma abordagem mais abrangente com o objetivo de desenvolver, manter e aprimorar a qualidade para inibir a propagação de falhas ou erros. Pode-se resumir a sua filosofia em três níveis: a gestão deve seguir a qualidade como objetivo número um, e esta prioridade ou objetivo deve ser entendida por todos os colaboradores na organização; as ações necessárias para alcançar os objetivos devem ser implementadas por toda a empresa; motivação,

avaliação dos resultados e comprometimento com a qualidade devem ser mantidos ao mais alto nível, em toda a empresa e o tempo todo;

- Philip Crosby, determinou que um sistema, para atingir melhores níveis de qualidade, deveria ser principalmente preventivo, tendo estabelecido o zero defeito como uma direção a seguir. Este autor obteve maior sucesso comercial promovendo os seus pontos de vista sobre a qualidade;
- Kaoru Ishikawa, foi o japonês que teve maior destaque na área da qualidade, tendo persistido na prática da qualidade durante todo o tempo, de um modo sistemático e sem interrupções: “o processo subsequente é o seu cliente”. Na sua perspectiva, as atividades TQC são basicamente iguais e os seus princípios podem ser aplicados em qualquer tipo de organização, assumindo como meta principal a melhoria contínua e uma atenção especial ao que significa qualidade para o cliente;
- Genichi Taguchi é o criador da estatística preventiva. Ele desenvolveu a estatística aplicada à qualidade e foi especialista mundial no que diz respeito ao desenvolvimento e design de novos produtos, definindo a qualidade como "a perda imposta à atividade a partir do momento em que o produto é expedido", perda esta que inclui os custos da insatisfação dos clientes que, por sua vez, conduzem a custos de reputação da empresa;
- Walter A. Shewhart, criou os gráficos de controlo ao juntar os conceitos de estatística à realidade produtiva da empresa de telefonia Bell Telephone Laboratories. Foi também este teórico que concebeu o ciclo PDCA (*plan-do-check-act*) e o qual direcionaria as atividades de análise e solução de problema.

Com a revolução industrial, a par do desenvolvimento de ferramentas de trabalho e da chegada da produção em massa, foi necessário criar um sistema baseado em inspeções, onde um ou mais atributos de um produto acabado eram examinados, medidos ou até mesmo testados, a fim se assegurar a qualidade dos mesmos (Barçante, 2009).

Barçante (2009), relata sobre o ano de 1922, onde a atividade de inspeção foi formalmente incorporada no controlo da qualidade pela primeira vez, a qualidade foi vista com responsabilidade de gestão independente, mas ainda assim a sua função era limitada à inspeção, cujas atividades eram restringidas à identificação e quantificação dos produtos defeituosos e à remoção dos mesmos, como explicado na tabela 2 e os fabricantes faziam isso sem recorrer a uma análise prévia sobre as causas dos defeitos.

Tabela 2- Eras da Qualidade

Era da Qualidade	Período	Preocupação básica	Foco	Métodos	Características Principais	Responsáveis
Inspeção	1900-1940	Verificação	Produto	Instrumentos de medição	Inspeção final das peças após produzidas a fim de assegurar a sua conformidade	Departamento de Inspeção
Controlo Estatístico da Qualidade	1940-1970	Controlo	Processo	Instrumentos e Técnicas Estatísticas	Controle das peças no processo com técnicas estatísticas	Departamento de Produção e Engenharia
Garantia da Qualidade	1970-1980	Comunicação	Sistema	Programas e Sistemas	Programas de qualidade e preocupação com os custos de falta de qualidade	Todos os departamentos
Gestão Estratégica da Qualidade	1990	Impactos Estratégicos	Negócio	Planeamento Estratégico e Mobilização da Organização	Foco na satisfação de clientes e planeamento estratégico	Todos os departamentos com a gestão do topo a liderar

Fonte: Adaptado de Barçante (2009).

A este propósito, e visando proporcionar uma melhor compreensão do conceito de qualidade e de como esta foi evoluindo ao longo do tempo, Garvin (1987) apresentou cinco abordagens da qualidade:

- transcendental;
- baseada no produto;
- baseada no cliente;
- baseada na produção;
- baseada no valor (Costa, 2013).

Cada uma das perspectivas de qualidade supracitadas é, de forma mais pormenorizada, elencada na tabela seguinte.

Tabela 3 - Abordagens da Qualidade

Tipo de Abordagem	Significados da Qualidade
<i>Abordagem Transcendental</i>	“Corresponde à noção comum que as pessoas têm sobre a qualidade, e que é sinónimo de superioridade e de excelência. Nesta perspetiva a qualidade não pode ser definida com precisão, sendo apenas reconhecível quando se está na sua presença. A noção de excelência é abstrata e subjetiva, sendo os padrões muito variados entre as diferentes pessoas”.
<i>Abordagem baseada no Produto</i>	“A qualidade é considerada como função de variáveis específicas e mensuráveis. Diferenças na qualidade refletem diferenças na quantidade de atributos nos produtos. Sob esta perspetiva, quanto mais elevada for a qualidade, maior o número de atributos tem o produto e, portanto, mais caro é”.
<i>Abordagem baseada no Cliente</i>	“Baseia-se na presunção de que a qualidade é determinada por aquilo que o cliente quer. A qualidade é então a adequação ao uso ou o quanto o produto funciona de acordo com o que é esperado pelo cliente”.
<i>Abordagem baseada na Produção</i>	“A qualidade é a conformidade com as especificações definidas aquando da conceção e o desenvolvimento do produto. É a conformidade com as especificações que dá consistência aos produtos permitindo que sejam todos idênticos entre si e que correspondam ao que se pretendeu produzir”.
<i>Abordagem baseada no Valor</i>	“Baseia-se na relação entre a utilidade e a satisfação que o produto produz e o seu preço. Quanto maior for a satisfação e a utilidade do produto e menor o seu preço, maior a sua qualidade”.

Fonte: Costa (2013, pp. 11-12).

Embora a qualidade seja desejada pelas empresas, para se alcançar a qualidade é necessário investimento e comprometimento. Nesta ordem de ideias, entende-se que é necessário referir as cinco premissas erradas do conceito de qualidade e as quais estão frequentemente presentes, colocando sérios desafios ao nível da comunicação (Crosby, 1988):

- 1) Qualidade é sinónimo de virtude, luxo, brilho ou peso;

- 2) Qualidade é intangível e incomensurável;
- 3) Existe a economia da qualidade, não é necessário economizar e seria equívoco ter qualidade como um componente de luxo;
- 4) Os problemas de qualidade têm origem na fabricação;
- 5) Qualidade tem origem no departamento de qualidade.

Seguindo a mesma linha de pensamento, Costa (2013, p. 7) explica que uma gestão da qualidade eficaz requer, antes de mais, que se defina o que é qualidade, sendo esta definida em função de cada caso, devendo-se considerar quatro aspetos:

- “A qualidade da conceção deve ser a medida em que o projeto incorpore as necessidades e expectativas do consumidor, quer em termos funcionais quer em termos técnicos;
- A qualidade da produção/prestação do serviço deve ser a medida em que o produto ou serviço esteja de acordo com as especificações;
- A qualidade na utilização deve ser a medida em que o produto desempenhe as tarefas ou preste os serviços que o consumidor espere dele;
- A qualidade relacional que deve ser a medida da eficácia dos contactos com os clientes (a qualidade é afetada por todas as pessoas que contactam com os clientes), incluindo os internos”.

2.1.2 Gestão da Qualidade

Como se pode verificar pelo ponto anterior, o conceito de qualidade foi evoluindo ao longo do tempo, o que se deve à dedicação e estudo deste processo por parte de vários estudiosos da área. Tal, resultou no entendimento que hoje se tem de qualidade, a qual, é assumida como um processo estratégico para as organizações e como uma condição de preexistência, um imperativo (Mezomo, 2001; Marshall Junior, 2003; Oliveira, 2009) e a gestão da qualidade tem acompanhado esta ideia. Se antes estava associada à função de inspeção, o conceito de qualidade passou a estar associada à função de gestão, verificando-se que “os métodos utilizados para gerir e garantir a qualidade dos produtos e serviços têm evoluído substancialmente ao longo dos anos, aumentando a sua eficácia

de modo a adaptarem-se às exigências crescentes do mundo dos negócios” (Ganhão & Pereira, 1992, p. 27).

A gestão da qualidade foi alvo da atenção de Imperatori (1999) que a concebeu como um processo contínuo de planeamento, implementação e avaliação dos procedimentos, das estruturas de garantia, dos sistemas e das atividades do âmbito da qualidade. Com uma posição semelhante, Paladini (2007, p. 136) refere-se à gestão da qualidade como sendo um “(...) processo de definição, implantação e avaliação das políticas de qualidade”, perpetuando-se por meio do recurso a uma série de métodos, tendo em vista a melhoria contínua e o envolvimento dos recursos humanos.

De acordo com a norma ISO (International Standard Organization) 9001:2015, a adoção de um sistema de gestão da qualidade é uma decisão estratégica de uma organização que pode ajudar a melhorar o seu desempenho global e proporcionar uma base sólida para iniciativas de desenvolvimento sustentável. As atividades de gestão da qualidade da ISO 9001:2015 estão focadas na gestão de topo da organização em valorizar a gestão da qualidade, garantindo assim a implementação, a manutenção e a melhoria contínua, tendo por base um círculo virtuoso de medição e análise dos resultados.

Para Pasquini (2018), o grande propósito de um sistema de gestão da qualidade é elaborar atividades de gestão da produção e de serviços que possam contribuir para evitar a ocorrência de não conformidades, com a finalidade de satisfazer os clientes e, conseqüentemente, reduzir os custos. Foi neste sentido que a International Organization for Standardization (ISO) criou, em 1987, quatro normas internacionais para gestão da qualidade e garantia da qualidade. Tal foi importante, uma vez que se reconhece que a gestão da qualidade implica a mobilização de “(...) recursos institucionais para a construção de um paradigma no qual desenvolvem-se rotinas, procedimentos, processos e metodologias no sentido de satisfazer o cliente” (Lima & Erdmann, 2006, p. 277).

Quanto ao contexto organizacional, deve-se ter em consideração os fatores internos, nomeadamente, fatores como os valores, cultura, conhecimento e desempenho da organização, bem como os fatores externos (os ambientes legais, tecnológicos, concorrência, mercado, culturais, sociais e económicos), os quais também incluem as respetivas: missão, visão, política e objetivos da organização (Fonseca, 2015).

Desde já, o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) acarreta alguns princípios ou pilares estabelecidos pelas normas ISO e mesmo com a quarta revolução industrial, estes princípios da gestão da qualidade, criados nos anos 90, permanecem até hoje.

Tal como aborda-se de qualidade total, também a gestão da qualidade deve ser total, entendendo-se que a qualidade total contempla no “seu conceito seis atributos ou dimensões básicas que lhe conferem características de totalidade. Essas seis dimensões são: qualidade intrínseca; custo; atendimento; moral; segurança e ética” (Longo, 1996, p. 9). De igual modo, Pires (2007) também procurou identificar as dimensões da gestão da qualidade total, tendo apresentado 10 dimensões deste modelo de gestão: planejar a qualidade, a satisfação total do cliente, a gestão participativa, o desenvolvimento dos recursos humanos, a definição dos objetivos, o aperfeiçoamento contínuo, a gestão de processos, a divulgação de informações, a garantia da qualidade e o desempenho zero defeitos.

Na verdade, gestão da qualidade total é um modelo que apresenta uma estratégia focada no cliente e nas suas necessidades, visando a melhoria permanente, mas também a colaboração dos seus profissionais, ou seja, dos seus recursos humanos (Capezio et al., 1995). E é esta a perspectiva que permanece atualmente e a qual faz mais sentido, isto porque se considera os recursos humanos os ativos mais importantes de uma empresa e para esta melhorar os seus produtos, ou os seus serviços, tem que incluir os seus colaboradores, como também deve ter em conta o cliente, mais precisamente, as suas necessidades, para assim lhe apresentar uma resposta, uma solução.

2.1.2.1 Princípios da Gestão da Qualidade

Os princípios da gestão da qualidade são um dos aspetos mais referenciados na literatura que disserta sobre este assunto, a ISO 9001:2015, a qual também apresenta os princípios da gestão da qualidade. Segundo Andrade (2018), em setembro de 2015 foi publicada a quinta versão da ISO 9001:2015, sendo que o seu objetivo (da norma), é trazer confiança ao cliente, nomeadamente em relação ao facto de que os produtos e serviços da empresa serão criados de modo repetitivo e consistente, a fim de adquirir uma qualidade, de acordo com aquilo que foi definido pela empresa.

Qualquer empresa, seja ela pública ou privada, independentemente da sua natureza, pode obter certificação na ISO 9001, um recurso de muito valor para a gestão da qualidade das empresas. Conforme a ISO 9001:2015, os pilares ou os princípios da Gestão da Qualidade são sete e são classificados conforme descrito a seguir (IPQ, 2015):

- Foco no cliente: Toda organização que presta bens e serviço e não só, depende dos seus clientes e por esta razão deve entender e atender as suas necessidades atuais e ter flexibilidade de antecipar as necessidades futuras superando as expectativas

dos mesmos, satisfazendo assim as suas necessidades, conquistar a lealdade dos clientes e levá-los a fidelização;

- **Liderança:** É necessário que haja interação entre os líderes e os colaboradores da empresa pois são eles que estabelecem a finalidade e a orientação da organização, a liderança deve proporcionar motivação aos colaboradores perante os objetivos da organização, criar e manter um ambiente interno saudável, inspirar e incentivar na execução de processos eficientes pois estes ocupam posições estratégicas dentro do sistema de gestão da qualidade e possuem papel de identificar as habilidades e debilidades individuais e conseguir extrair o melhor de cada colaborador;
- **Comprometimento das pessoas:** As pessoas são o bem mais precioso e muito valioso que uma organização possui, é fundamental identificar e desenvolver as potencialidades dos colaboradores em um sistema de gestão da qualidade para conquistar o comprometimento das pessoas, é importante que a organização crie e mantenha um ambiente interno saudável e estável para que permita o desenvolvimento das pessoas para que se possa alcançar os objetivos da organização;
- **Abordagem dos processos:** Resultado da relação entre os funcionários e as suas atividades dentro da organização, quando as atividades e os recursos são geridos como um processo (entrada-atividade-saída) a qualidade e a eficiência aumentam, principalmente quando estes se dedicam ao planeamento do processo reduzindo assim a correção de possíveis erros de planeamento das atividades;
- **Melhoria:** Com a melhoria contínua a organização se posiciona de melhor maneira mediante as situações adversas que aparecerão, e também aumenta a satisfação dos seus clientes, este princípio deve ser um objetivo permanente da mesma;
- **Tomada de decisão baseada em evidências:** Estabelecer estratégias, políticas e objetivos que devem ser suportados na análise de dados e informações relevantes, de origem interna ou externa à organização, pois é fundamental analisar evidências, pois estas ajudam a tomar decisões sem caráter especulativo, tendo assim maior capacidade de demonstração da eficácia de ações passadas com base em registos factuais, e isto aumenta a capacidade crescente para rever, questionar, instigar e alterar opiniões e decisões;

- **Gestão das relações:** Gerir relacionamento entre pessoas, processos e entidades ligadas a organização, trazem benefícios mútuos e potencia a aptidão de ambas as partes para criar valor, um sistema de gestão da qualidade estruturado nos sete princípios e digerido por toda a organização torna-se eficiente e eficaz a integração de inovações tecnológicas.

Em seguida, o eixo da nossa atenção volta-se para as práticas de qualidade, sendo feita uma breve referência a algumas das ferramentas que nelas são utilizadas.

2.1.3 Práticas de Qualidade

Existem várias práticas de qualidade e de gestão da qualidade, nomeadamente: foco no cliente; aperfeiçoamento contínuo; abordagem sistémica; investimento na formação e no trabalho de equipa; transparência (Silva, 2017). Contudo, fica evidente que um dos aspetos mais importantes é o envolvimento e comprometimento de toda a empresa neste processo de melhoria, atuando em direção a um objetivo comum e do qual todos os colaboradores, do mais baixo ao mais alto nível hierárquico, têm conhecimento.

Neste sentido, espera-se que a gestão da qualidade: diminua, racionalmente, os custos; melhore o envolvimento e comprometimentos dos colaboradores; aumente o valor da marca; aumento a competitividade; aumente a satisfação dos clientes; e aumente a rentabilidade da empresa/organização (Silva, 2009).

Hoje, mais do que nunca, defende-se qualidade, como também se defende o respeito e a valorização dos trabalhadores e, ao mesmo tempo, a satisfação e respeito pelos clientes, pelo que a TQM, assim como a Responsabilidade Social Corporativa, assumem-se como filosofias de gestão importantes para qualquer indústria, principalmente para ganhar uma vantagem competitiva sustentável (Benavides-Velasco et al., 2014).

Muitas organizações recorrem a mecanismos para implementar e controlar o desenvolvimento do controlo da qualidade, pelo que são as ferramentas da qualidade que auxiliarão na tomada de decisões. Neste sentido, reconhecendo-se que as práticas de qualidade, para se efetivarem, recorrem a várias ferramentas da qualidade, procurou-se descrever algumas destas ferramentas, não só visando uma compreensão mais profunda das mesmas, como se pretende, posteriormente, relacioná-las com os princípios e estudar as suas possíveis relações com as tecnologias 4.0.

Nesta ordem de ideias, o Ciclo PDCA, de acordo com a norma ISO 9001:2015 (IPQ, 2015), é uma ferramenta que pode ser aplicada em todos os processos e ao sistema de gestão da qualidade como um todo (IPQ, 2015).

Por sua vez, o diagrama Ishikawa – também designado de diagrama espinha de peixe, diagrama causa-efeito ou diagrama 6M –, constitui uma ferramenta bastante usada para a identificação das causas e efeitos relacionados com problemas detetados nas empresas no decorrer do processo produtivo. Além disso, permite também identificar os fatores que podem contribuir para se alcançar um objetivo, analisando: o método; o material (matéria-prima); os recursos humanos (mão-de-obra); as máquinas (infraestrutura); a medição (monitorização); e o meio ambiente (IPQ, 2015).

Já o fluxograma, que na prática se revela um gráfico, constitui um auxílio para descrever todas as atividades de um processo, sendo formado por módulos, nós e ligações, sendo delineada uma sequência lógica de todas as etapas do processo. Este fluxograma encontra-se dividido em três secções sendo elas:

- Início: definição dos dados de entrada (inputs) e a origem
- Processo: traduz-se na determinação e interligação dos módulos de todas as operações do processo
- Fim: definição dos dados de saída (outputs) e respetivos clientes.

Por sua vez, o diagrama de Pareto constitui uma ferramenta que permite a visualização dos problemas em partes, o que significa que os problemas são analisados individualmente. Para a elaboração do diagrama é utilizado o gráfico de barras verticais, sendo que esta ferramenta é usada para controlar as causas de defeitos e outros problemas como a produção de itens com defeito e/ou com falha, assim como despesas extraordinárias, furtos, falta de *stock*; e atrasos na entrega. Pode-se afirmar também que com o diagrama de Pareto, é possível mensurar os efeitos que uma ação pode causar, conhecer quais problemas são mais graves e ordenar aqueles que devem ser resolvidos primeiro (IPQ, 2015).

Por fim, a 5W (What, Why, When, Where, Who) 2H (How, How much) é uma ferramenta que ajuda na implementação de decisões e no planeamento das ações de melhoria, traduzindo-se na elaboração de uma lista de verificação de todas as atividades envolvidas, compreendendo ainda a elaboração de um quadro com questões a responder (Napoleão, 2018):

- O quê? (1.º W – What);
- Quando? (2.º W – When);
- Porquê? (3.º W – Why);
- Onde? (4.º W – Where);
- Como? (5.º H–How);
- Quem? (6.º W – Who);
- Quanto? (7.º H – How Much).

2.2 Indústria 4.0

De acordo com Junior e Saltorato (2018), a indústria 4.0 é o produto de uma fusão de tecnologias aplicadas ao ambiente de produção, entre elas os CPS, a IoT, a *Internet of Services* (IoS), veículos autónomos, impressoras 3D, robôs avançados, inteligência artificial, Big Data, nanomateriais e nanosensores. Além disso, a combinação das mesmas tem potencial para habilitar as chamadas *Smart Factories*, capazes de fabricar produtos de forma mais eficiente com a comunicação e integração entre máquinas, pessoas e recursos, nessas “fábricas inteligentes”, máquinas e insumos “conversam” ao longo das operações fabris, agregando flexibilidade aos processos que ocorrem de maneira autónoma e integrada. As *Smart Factories* envolvem a união e harmonização entre os CPS e o uso da IoT e da IoS nos processos industriais, estes são os componentes-chaves da indústria 4.0 (Junior & Saltorato, 2018).

Segundo Santos et al. (2018), o setor industrial sempre foi fundamental para o desenvolvimento económico dos países, e desde o final do século XVIII, a indústria está em constantes transformações revolucionando a maneira como os produtos são fabricados especialmente no que tange o aumento da produtividade.

A primeira Revolução Industrial ficou marcada pela transição do trabalho manual para as máquinas alimentadas a vapor. Já no início do século XX, assiste-se à introdução da eletricidade nos sistemas produtivos, coincidindo com a segunda Revolução Industrial,

caracterizada pela produção em massa e divisão do trabalho, estando presente um modelo de produção assente na energia elétrica (Lu, 2017).

A terceira revolução industrial, que teve início na década de 70 até os dias de hoje, é caracterizada pelo uso da eletrônica e tecnologia da informação (TI) para aprimorar a automação na produção (Desoutter Industrial, 2020). A combinação de tecnologias avançadas como a internet está, novamente, a provocar transformações no panorama industrial e está a dar início a uma quarta Revolução Industrial a qual é intitulada de Indústria 4.0 (Desoutter Industrial, 2020).

A este respeito, Santos et al. (2018) debruçaram-se sobre o assunto das revoluções industriais, pelo que a figura 1, de sua autoria, apresenta um resumo das quatro Revoluções Industriais.

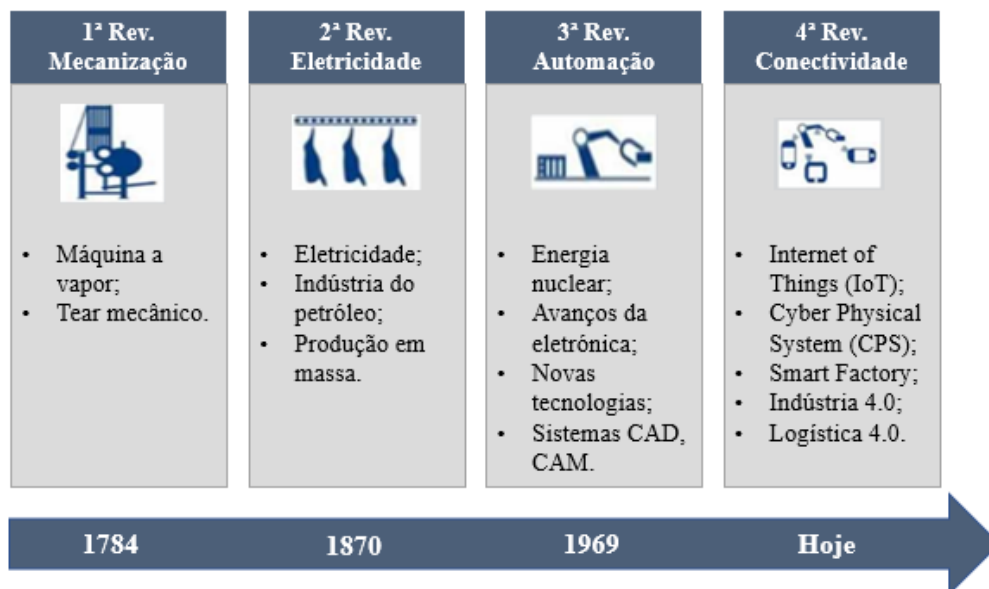


Figura 3 - Revoluções Industriais. Fonte: Santos et al. (2018).

2.2.1 Caracterização da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 surgiu em 2011, por meio de uma iniciativa do governo federal alemão em conjunto com universidades e empresas privadas (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019). Segundo Junior e Salotrato (2018), a Indústria 4.0 tem sido caracterizada pela incorporação de tecnologias de informação ao ambiente de produção, promovendo ganhos substanciais de produtividade e flexibilidade, transformando a natureza do trabalho industrial. Além disso, os seus impactos atingem todo o ambiente empresarial,

político, económico e social, o que tem contribuído para que a indústria 4.0 seja assumida como a quarta revolução industrial (Junior & Saltorato, 2018).

Na verdade, os objetivos da Indústria 4.0 passam por atingir o nível mais alto de eficiência e produtividade operacional, bem como o nível mais alto de automação (Lu, 2017). Por isso mesmo, a Indústria 4.0 é assumida como uma nova etapa industrial, destacando-se pelo facto de integrar os sistemas de operações de produção e as tecnologias de informação e comunicação (TIC) (Dalenogare et al., 2018). Sistemas estes que procuram monitorar e controlar os equipamentos, transportadores e produtos, através de um ciclo de *feedbacks* que recolhe uma grande quantidade de dados (*Big Data*) e atualizam os modelos virtuais com base nas informações dos processos físicos, resultando numa fábrica inteligente (Gilchrist, 2016; Wang, Törngren & Onori, 2015; Wang et al., 2016).

De acordo com Lu (2017), os objetivos da Indústria 4.0 visam atingir o nível mais alto de eficiência e produtividade operacional, bem como o nível mais alto de automação, sendo que para Frank, Dalenogare e Ayala (2019), os produtos inteligentes assumem-se como o segundo objetivo da Indústria 4.0, na medida em que promovem novos modelos de negócios como os sistemas produto-serviço e criam novas oportunidades, tanto para fabricantes como para prestadores de serviços.

As cinco principais características da Indústria 4.0, e as que mais a destacam, são a digitalização, otimização e customização da produção; automação e adaptação; interação homem-máquina (HMI, do inglês, *Human-Machine Interaction*); serviços e negócios de valor agregado e troca automáticas de dados e comunicação (Lu, 2017). Esses recursos não só estão ligados às tecnologias da Internet e algoritmos avançados, como também indicam que a Indústria 4.0 é um processo industrial de valor agregado e gestão de conhecimento (Lu, 2017). No entanto, apraz referir que o *Big Data Analytics* e implementação de flexibilização assumem-se como os principais desafios (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019).

Para Borlido (2017), uma fábrica inteligente é uma fábrica que trabalha na máxima eficiência enquanto as máquinas inteligentes interligadas entre si, colaboram entre elas, com os trabalhadores, com os fornecedores e clientes e com a cadeia analítica e dinâmica criada para se autocontrolar, com um nível alto em termos de eficiência onde os defeitos, as quebras produtivas, o desperdício e a espera não existem, originando o máximo desenvolvimento tecnológico e industrial.

2.2.2 Principais Tecnologias

A Indústria 4.0 é marcada por processos de automação e digitalização altamente desenvolvidos e pelo uso de tecnologias eletrônicas e de informação na fabricação e serviços (Lu, 2017). Os autores Oztemel e Gursev (2020), afirmam que, o uso dessas tecnologias, servem para aumentar e melhorar a eficiência das operações e, finalmente, a produtividade de novos modelos de negócios, serviços e produtos que terão um grande impacto econômico em relação a outras revoluções industriais, no entanto, para garantir a sua funcionalidade, algumas ferramentas são exigidas, dando origem aos nove pilares da Revolução 4.0, conforme a Figura 4 o demonstra.

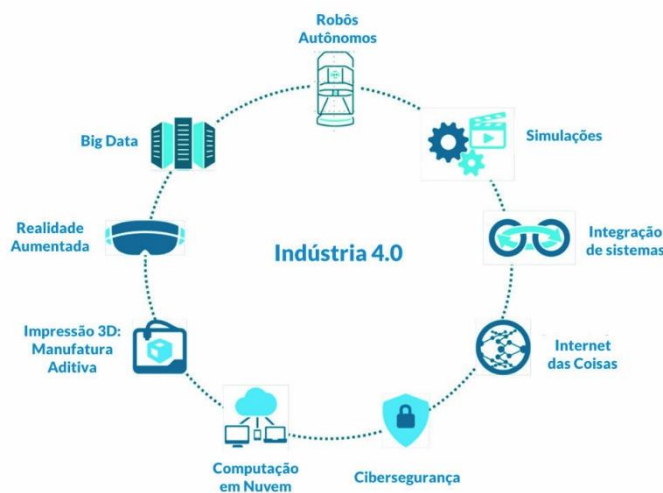


Figura 4 - Os Nove Pilares da Indústria 4.0. Fonte: Mata et al. (2018).

2.2.2.1 Cyber-Physical Systems (CPS)

De acordo com Bagheri et al. (2015), o termo sistemas ciber-físicos define os sistemas naturais e criados pelo homem (espaço físico) que são fortemente integrados aos sistemas de computação, comunicação e controle.

Por outras palavras, os CPS servem para obter interação colaborativa, e em tempo real, entre o mundo real e o mundo da informação através de ciclos de *feedback* da interação entre processos computacionais e processos físicos para aumentar ou expandir a nova função, fornecendo detecção em tempo real, controle dinâmico e *feedback* de informações, etc. (Cheng, Zhang & Yang, 2016). A Figura 5 é um processo mutuamente colaborativo do CPS 3C (Computação, Comunicação, Controle).

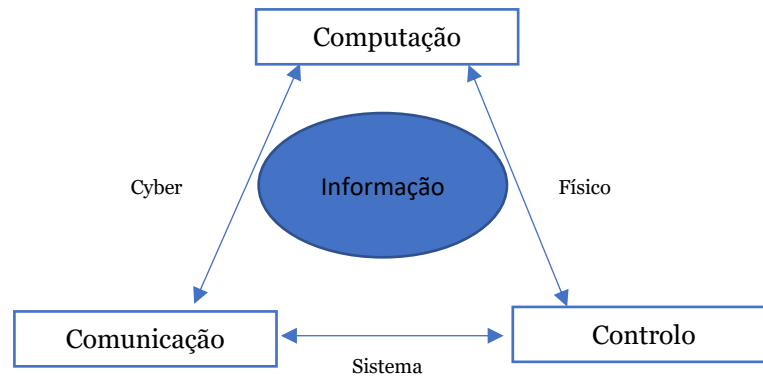


Figura 5 - Sinergia entre CPS 3C. Adaptação do autor. Fonte: Cheng et al. (2016).

Os CPS consistem em microcontroladores de sensores e atuadores (Lu, 2017), sendo que os dados e as informações são trocados entre terminais de computadores, aplicativos sem fio, residências ou até nuvens (Almada-Lobo, 2015). O CPS é um sistema complexo, dinâmico e integrado que colaborará com o planeamento, análise, modelagem, design, implementação e manutenção no processo de fabricação. Este combina informações e materiais, sendo que a descentralização e a autonomia desempenham papéis importantes na melhoria do desempenho industrial geral e são capazes de aumentar a produtividade, promover o crescimento, modificar o desempenho da força de trabalho e produzir produtos de maior qualidade e custos mais baixos, por meio da recolha e análise de dados (Almada-Lobo, 2015).

A este propósito, Almada-Lobo (2015) relata que os CPS são simplesmente objetos físicos com *software* incorporado, acrescentando ainda que com a capacidade de computação, na indústria 4.0, muitos produtos manufaturados serão produtos inteligentes. Com base na conectividade e no poder da computação, a principal ideia por trás dos produtos inteligentes é que eles incorporarão recursos de autonomia e, que por outro lado, os equipamentos de produção se transformarão em sistemas de produção ciber-física (CPPS, do inglês, *Cyber-Physical Production Systems*), máquinas aprimoradas por *software*, também com o seu próprio poder de computação, alavancando uma ampla gama de sensores e atuadores incorporados Almada-Lobo (2015).

Além da conectividade e do poder de computação, o CPPS conhece o seu estado, a sua capacidade e as suas diferentes opções de configuração e poderá tomar decisões autonomamente, pelo que Almada-Lobo (2015) afirma que a combinação do CPS com o CPPS provocará, provavelmente, mudanças significativas na produção e no controlo, em direção a sistemas completamente descentralizados.

2.2.2.2 Internet of Things (IoT)

Segundo Mehta et al. (2018), o conceito de IoT surgiu em 1998 e o termo Internet das Coisas foi introduzido, por Kevin Ashton, em 1999, onde a IoT passou a ser vista como uma estrutura de rede abrangente que consiste em vários objetos do mundo real conectados e que dependem de tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações. Segundo Oztemel e Gursev (2020), essa interligação de dispositivos físicos traduz-se em quatro camadas principais, sendo elas:

- Camada de Percepção;
- Camada de Rede;
- Camada de Suporte;
- Camada de Aplicação.

Em 2013, a Iniciativa Global dos Padrões da Internet das Coisas – *Internet of Things-Global Standards Initiative* (IoT-GSI) – definiu a IoT como "a infraestrutura global para a sociedade da informação" (M&S Industrial, 2020). Na verdade, a IoT permite que os objetos sejam detetados ou controlados, via remota pela infraestrutura de rede existente, criando oportunidades para uma maior integração do mundo físico dentro dos sistemas base.

Numa perspectiva geral, e tendo por base Zhong et al. (2017), "a IoT é capaz de oferecer conectividade avançada de objetos, sistemas e serviços físicos, permitindo a comunicação entre objetos e a partilha de dados. Em vários setores, o controle e a automação para iluminação, aquecimento, maquinagem, aspiradores robóticos e monitoramento remoto podem ser alcançados pela IoT" (p.619). Contudo, importa salientar que uma tecnologia-chave na IoT é a tecnologia de identificação automática, que pode ser usada para fazer objetos inteligentes.

A IoT tem três novos objetivos em relação às redes de informação tradicionais, e que exigem uma interligação mais extensa, assim como uma percepção mais intensa da informação e serviços inteligentes mais abrangentes. Neste sentido, as principais características da IoT são (Ma, 2011):

- 1) Instrumentar objetos comuns como: copos, mesas, parafusos, alimentos e pneus de automóveis podem ser acedidos individualmente através de um chip RFID (*Radio Frequency Identification*, em português, Identificação de Rádio Frequência), código de barras;

- 2) Os terminais autónomos estão interligados, isto é, os objetos físicos instrumentados estão conectados como terminais de rede autónomos;
- 3) Os serviços invasivos são inteligentes, estão extensivamente interligados à rede, permitindo que todos os objetos participem do fluxo de serviço, tornando-o inteligente.

Através da IoT, o papel das pessoas é cada vez mais reduzido nos tradicionais processos produtivos e pode mesmo desaparecer da equação, pois os dados são fornecidos pela interação entre objetos (Lima & Pinto, 2019). Como se pode observar por meio da figura 6, os dados facultados pela interação entre objetos irão garantir que os processos industriais são orientados de forma controlada, que são realizadas análises mais detalhadas e que se tomam decisões mais dinâmicas e mais eficazes, pelo que esta tecnologia permitirá soluções inovadoras na área de desempenho de sistemas.

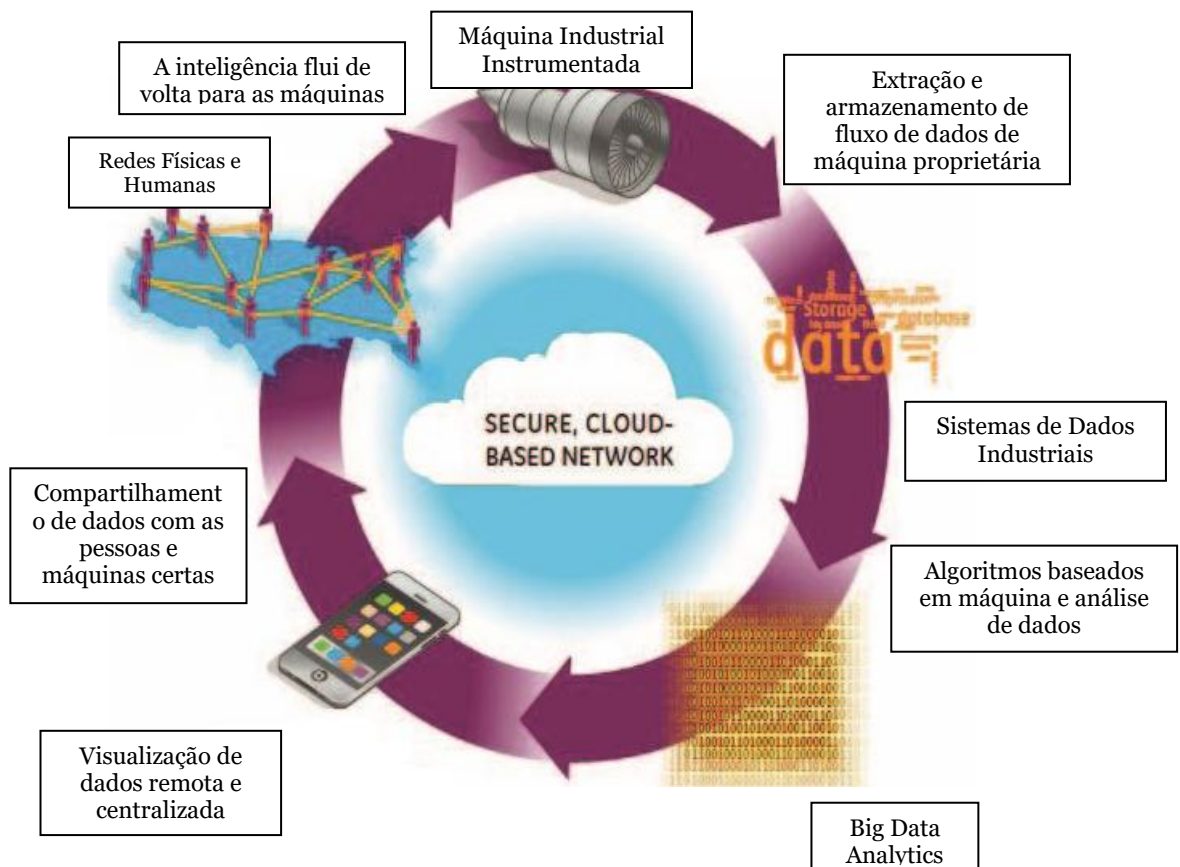


Figura 6 - Aplicação da IoT. Fonte: Khan et al. (2017).

2.2.2.3 Big Data

De acordo com Alcácer e Cruz-Machado (2019), quando uma quantidade enorme de dados, gerados de diferentes tipos, podem ser provenientes de objetos heterogêneos interligados, essa enorme quantidade de dados estruturados, semiestruturados e não estruturados podem descrever o Big Data (BD).

A recolha ou o armazenamento de dados caracterizam o BD, mas a sua principal característica é a análise dos dados e sem ela, o BD não tem muito valor, pois é ele que pode fornecer orientação sistemática para atividades de produção relacionadas com todo o ciclo de vida do produto, obtendo uma execução económica do processo e sem falhas, trazendo oportunidades de valor às indústrias na era da IoT devido a conexão de mais dispositivos físicos à Internet e com o uso de uma geração de novas tecnologias. Segundo Velásquez, Estevez e Pesado (2018), as técnicas de BDA permitem analisar o enorme volume de informações geradas num ecossistema de linha de produção 4.0, usando análises avançadas, históricas, preditivas e descritivas do estado e operação das máquinas envolvidos em processos de produção. Esta análise de dados é usada para a manutenção preditiva, o que contribui para a redução de ineficiências e custos de manutenção, antecipando as falhas no equipamento e originando melhores respostas a situações emergentes e remotas, causadas por diferentes fatores como o mau tempo, alta humidade, temperatura elevada exposição de gases, etc.

2.2.2.4 Cloud Computing

A computação em nuvem surgiu com o objetivo de facilitar o acesso a informações de forma descentralizada, possibilitando decisões estratégicas (Marston et al., 2011).

O termo “nuvem” é usado para aplicativos como serviços remotos, gestão de cores e aplicativos de *benchmark* de desempenho, tendo captado a atenção da comunidade de tecnologia da informação (Oztemel & Gursev, 2020). Como resultado, o *cloud computing* tem vindo a assumir um importante papel em diversas áreas de negócios, o que acontece em paralelo, e em comunhão, com as melhorias contínuas das tecnologias, maquinarias, gestão e função dos dados (Oztemel & Gursev, 2020). Tal, induz as empresas a alterarem as suas abordagens tradicionais para as soluções baseadas na nuvem, garantindo a entrega de sistemas muito rápidos, em relação aos sistemas independentes, assim como rápidas atualizações e modelos de desempenho atualizados (Oztemel & Gursev, 2020). Além disso, a tecnologia em nuvem constitui um serviço de armazenamento online mais

simples e que oferece conveniência operacional, com aplicativos baseados na web e que não requerem instalação (Oztemel & Gursev, 2020).

Para Lima e Pinto (2020), esta situação foi desencadeada pelo aumento da utilização da internet que, conseqüentemente, aumentou o volume de dados que dificultou a gestão desta grande carga de dados para os sistemas *hardware* e *software* existentes. Nesta ordem de ideias, através da computação em nuvem, os utilizadores podem aceder, sempre que necessitem e assim o desejem, a qualquer aplicação necessária para o desenvolvimento de negócios. Portanto, através da internet, as informações são guardadas na nuvem e podem ser acedidas a partir de qualquer lugar, como está ilustrado na figura 8. Na verdade, a figura 7 demonstra como os recursos de computação na nuvem podem ser acedidos através de uma variedade de plataformas da internet (Marston et al., 2011).

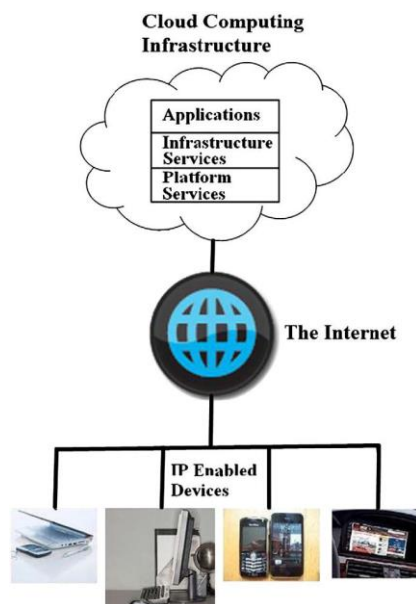


Figura 7 - Infraestrutura de Computação em Nuvem.

2.2.2.5 Impressão 3D

De acordo com Santos et al. (2018), a fabricação por adição está a ser apontada como uma das tecnologias de produção mais promissoras a nível global, onde a impressão 3D (três dimensões) está em destaque, pois cria produtos através da adição de materiais camada a camada, em vez de processos de maquinagem. No entender de Lima e Pinto (2019), a impressão 3D é o tipo de industrialização/conceção de um produto mais flexível atualmente pelo que assenta na perfeição na indústria 4.0. Isto porque, a produção de protótipos, através dessa tecnologia, está a aumentar a velocidade e não apenas do

processo de design, mas também da produção final, permitindo a redução das dependências na cadeia de valor, pois essas tecnologias permitem custos cada vez mais competitivos, em quantidades de produção cada vez mais reduzidas (Lima & Pinto, 2019).

2.2.2.6 Robótica Colaborativa

O robô colaborativo foi desenvolvido no fim da década de 90 (1999), pelos professores Edward Colgate e Michael Peshkin, na Northwestern University em Evanston, Estados Unidos da América (Peshkin et al., 2001).

Apesar da robótica colaborativa constituir uma característica da terceira revolução industrial, esta é também uma característica da quarta revolução industrial. Isto porque, o novo paradigma produtivo, proposto pela quarta revolução industrial, procura otimizar este tipo de tecnologia, ao melhorar as capacidades dos robôs tradicionais, tornando-os robôs inteligentes, com capacidade para aprender e colaborar com os seres humanos (Sordan et al., 2019). Ou seja, a sua grande finalidade passa por habilitar o trabalho colaborativo entre humanos e robôs, pois os robôs colaborativos melhoram a flexibilidade dos processos industriais e, simultaneamente, diminuem a fadiga dos operadores (Bloss, 2016;).

Desta forma, a robótica colaborativa tem sido bastante utilizada, nomeadamente, para aumentar a segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração no chão de fábrica, sem a necessidade de isolar uma área de trabalho (Bahrin et al., 2016).

2.2.2.7 Realidades Virtual e Aumentada

Segundo Borlido (2017), a virtualização é uma criação de infraestruturas virtuais e uma forma de se executarem vários serviços ou programas (possibilita a execução de mais de um sistema operacional e aplicações diferentes em simultâneo na mesma máquina). Segundo o mesmo autor, é um exemplo vivo do mundo “digital” do futuro, uma opção virtual que oferece resultados excelentes, pois permite que se executem vários serviços a partir de um único servidor (Borlido, 2017).

Para Mata et al. (2018) os sistemas de realidade argumentada suportam uma variedade de serviços, como a seleção de peças em um armazém e envio de instruções de reparação através de dispositivos moveis e estes sistemas fornecerão informações em tempo real para melhorar a tomada de decisões e procedimentos de trabalho. Por exemplo, os

trabalhadores podem receber um aviso, instruções de reparação e qual o dano assim que o sistema real necessitar de reparação.

A consolidação de todos os pilares será um elemento principal para o sucesso do projeto que é a indústria 4.0. Com este padrão, é assegurado as informações entre sistemas e dispositivos, eliminando as restrições de padrões vigentes (Sebrae, 2016).

2.2.2.8 RFID / Rastreabilidade Industrial

Um dos aspectos mais importantes dentro da I.4.0 é a rastreabilidade dos produtos e de acordo com Khan et al. (2017), a tecnologia RFID utiliza campos eletromagnéticos para transferir dados para detetar e rastrear *tags*, usando um sistema de comunicação via *wireless* e que usa as ondas de radiofrequência para identificar e encaminhar objetos.

O RFID integra, na perfeição, no Manufacturing Execution System, pois interage com o processo produtivo desde a fase de matéria-prima até ao produto final (*tracking*) (Borlido, 2017). Esta tecnologia traduz-se em etiquetas e leitores, cada dispositivo possui uma etiqueta RFID com um número de identificação exclusivo em que o leitor deteta os objetos lendo *tags*.

2.3 Qualidade 4.0 e sua Relação com as Tecnologias da Indústria 4.0

A Qualidade 4.0 conjuga novas tecnologias com os tradicionais métodos de qualidade, visando a excelência operacional e articula, exigindo esta relação, o desempenho (*performance*) com inovação (Silva, 2019). Ela constitui “uma oportunidade de utilizar essas tecnologias da Indústria 4.0 para realinhar funções de qualidade com uma estratégia organizacional ampliada. A qualidade 4.0 possibilita o alinhamento da prática da gestão da qualidade com os recursos da Indústria 4.0 no sentido de alavancar a excelência operacional. Ao mesmo tempo que o desenvolvimento de uma estratégia eficaz da Qualidade 4.0 permitirá que as organizações solucionem questões não resolvidas adequadamente ao longo dos anos. Tais como: barreiras funcionais; comunicação ineficaz e a fragmentação dos dados dos sistemas de qualidade tradicionais” (Valentina, 2019).

O conceito de Qualidade 4.0, além de contemplar os fundamentos e princípios da qualidade, alia-se à tecnologia, tornou-se uma tendência, assumindo-se como uma

oportunidade para as organizações reverem a origem dos seus erros ao nível do processo de qualidade (Silva, 2019). Isto porque, a qualidade 4.0 “apresenta-se como oportunidade para que as organizações trabalhem com maior profundidade nas causas e efeitos dos insucessos na inovação de processos e de produtos. De acordo com Jacob (2017), este conceito enquadra a digitalização da Gestão da Qualidade e além disso, e mais importante é o seu impacto com relação as pessoas, processos e tecnologias associadas a qualidade, a Qualidade 4.0 não veio para substituir os métodos tradicionais de controlo da qualidade, mas sim criar e aprimorar os existentes, com desenvolvimento tecnológico desta nova era industrial consegue-se conectar pessoas, máquinas e dados, e para qualidade estas tenologias alteram a cultura organizacional, a liderança, colaboração e conformidade, então a Qualidade 4.0 não consiste apenas em tecnologias, mas também nas pessoas . Nesta senda estão envolvidos 11 eixos principais: Sistema de gestão, Dados, Analytics, Conectividade, Aplicativos de desenvolvimento, Escalabilidade, Colaboração, Competitividade, Liderança, Cultura e Compliance, os quais permitem a conexão entre processos, tecnologia e pessoas conforme Figura 8.

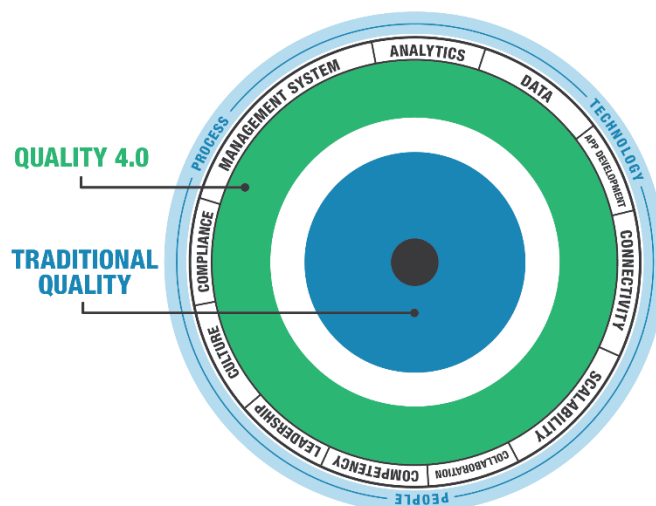


Figura 8: Eixos da Qualidade, Fonte: Jacob (2017)

Ao explorar as vantagens estratégicas e competitivas das tecnologias da Indústria 4.0 com maior transparência dos dados e de insights da qualidade orientados por dados para alcançar uma cultura de excelência para a inovação.

Contudo, tanto a Indústria 4.0 como a Qualidade 4.0 têm desafios em outra área de fundamental importância para a inovação, que é a gestão das pessoas (Valentina, 2019).

Nesta ordem de ideias, os principais obstáculos a serem superados pelas empresas que buscam a Qualidade 4.0 são (Valentina, 2019):

- a busca de liderança que execute a coordenação entre as áreas da organização;
- desenvolver habilidade nos líderes para lidar com o ambiente competitivo, com a hierarquia, com a tecnologia e com a conectividade, primando pela transparência;
- desenvolver talentos para disseminação das iniciativas da indústria 4.0 e da qualidade 4.0 num ambiente propício para a inovação.

Nos capítulos que se seguem, não só se apresenta a metodologia de estudo, bem como os resultados obtidos acerca da influência das tecnologias da Indústria 4.0 na melhoria da qualidade.

Capítulo 3 – Metodologia De Pesquisa

Este trabalho recorre ao método da revisão sistemática de literatura (RSL), um método sistemático, explícito e passível de reprodução, e o qual permite a identificação, avaliação, reunião e resumo dos estudos realizados na área (Fink, 2014), como suporte para este processo usou-se a metodologia PRISMA que consiste numa lista de verificação e num fluxograma das etapas da realização (Donato e Donato, 2019). Assim sendo, seguindo esta linha de pensamento, a RSL realizada é sobre as formas como as ferramentas associadas á Indústria 4.0 podem potenciar o controlo da qualidade.

No que diz respeito à conceção da pergunta de investigação, a pergunta à qual se pretende responder e onde são especificados os conceitos-chave e a população-alvo (Fortin, 2003), apraz sublinhar que se recorreu à estratégia PCC: Problema ou População; Conceito, Contexto. A escolha pela estratégia PCC não foi aleatória, mas sim porque esta se adequa e possibilita a construção de pergunta(s) de investigação, sendo conhecida como uma mnemónica que ajuda a identificar os tópicos-chave (Sanches, Rabin & Teixeira, 2018). Nesta ordem de ideias, a tabela seguinte especifica os componentes da estratégia PCC da presente RSL e em função dos objetivos e do problema de investigação.

Tabela 4 - Componentes da PCC

Componentes	Definição
<i>Problema ou população</i>	Tecnologias da Indústria 4.0
<i>Conceito</i>	Indústria 4.0
<i>Contexto</i>	Gestão da Qualidade

Face ao desenvolvimento da investigação, esta envolveu quatro etapas, sendo elas:

1. - definição dos critérios de seleção (inclusão e exclusão);
- 2.- seleção da base de dados;
3. - execução da pesquisa
4. Análise de Conteúdo

Assim sendo, na tabela seguinte apresentam-se e discriminam-se os critérios de seleção – inclusão e exclusão – adotados nesta RSL.

Tabela 5 - Critérios de Seleção dos Estudos

<i>Critérios de Inclusão</i>	<i>Critérios de Exclusão</i>
Artigos disponíveis na íntegra. Artigos publicados a partir de 2019.	Artigos que não estão disponíveis na íntegra. Artigos publicados antes de 2019.
Artigos relacionados com o tema.	Artigos não relacionados com o tema.
Artigos não duplicados. Artigos que focam conceitos: qualidade, indústria 4.0 e tecnologia.	Artigos duplicados. Artigos que abordam outros temas que não os referentes à qualidade, indústria 4.0 e tecnologia.

A pesquisa decorreu no ano 2020, tendo-se encontrado um total de 1.757 artigos, dos quais apenas se selecionaram 10 que foram publicados entre 2019 e 2020. Através da figura 9 que se segue, é possível identificar as várias etapas da metodologia PRISMA que são: a identificação dos números dos artigos encontrados nas três bases de dados; seleção dos artigos (número de artigos encontrados e excluídos); elegibilidade (número de artigos completos na íntegra); e a inclusão (número de artigos incluídos na síntese qualitativa), qual representa o processo de RSL realizado

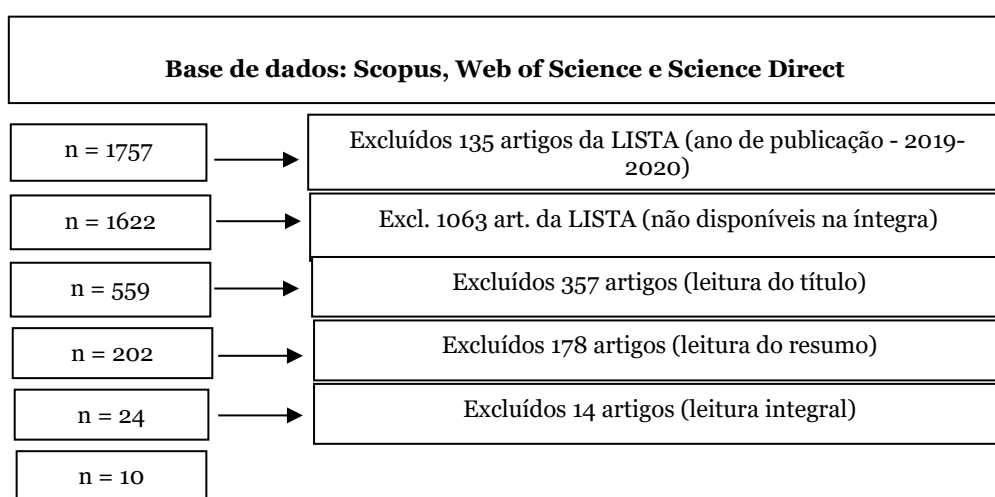


Figura 9 - Fluxograma da PRISMA

Com base no estudo efetuado conclui-se que nos anos de 2019 e 2020 foram publicados 10 artigos que abordam a temática da utilização da indústria 4.0 no âmbito da qualidade 4.0.

Tabela 6 - Amostra final de artigos analisados

<i>Base de Dados</i>	<i>Autores</i>
<i>Scopus</i>	- Carvalho et al. (2019) (E1); - Chiarini (2020) (E2); - Ponsignon, Kleinhansb & Bressolles (2019) (E3); - Yadav, Shankar & Singh (2020) (E4);
<i>Web of Science</i>	- Crešnar, Potocan & Nedelko (2019) (E5); - Farahani, Brown, Loftis, Krick, Pichl, Vaculik & Pill (2019) (E6); - Ghobakhloo & Fathi (2020) (E7); - Villalba-Diez et al. (2019) (E8);
<i>Science Direct</i>	- Nygaard, Colli & Wachrens (2019) (E9); - Vargas, Vijayan & Mork (2020) (E10).

Assim sendo, em seguida, passam-se a apresentar os principais resultados.

Capítulo 4-Resultados

A tabela 7 mostra uma caracterização ou resumo dos artigos analisados conforme os objetivos e método do estudo e as principais conclusões

Tabela 7 - Estudos Incluídos na RSL

<i>Estudo/Autor/ Data</i>	<i>Objetivo/Método</i>	<i>Resultados/Conclusão</i>
<i>Carvalho et al. (2019) (E1)</i>	- Objetivo: entender o estado atual e os desafios futuros da excelência, apoiando essas perspectivas numa ampla revisão da literatura cobrindo sua história. - Método: qualitativo, revisão sistemática.	Os resultados evidenciam as conquistas da excelência, suas limitações e desafios, e os principais conceitos que precisam ser abordados no âmbito do tratamento dos modelos industriais do futuro. Ao todo, analisa as relações entre a excelência e outras iniciativas de qualidade e identifica oportunidades de melhoria.
<i>Chiarini (2020) (E2)</i>	- Objetivo: analisar a situação atual da literatura em termos das relações entre a Indústria 4.0 e a gestão da qualidade e o TQM; - Método: Qualitativo, RSL.	Emergiram quatro categorias de tópicos, nomeadamente: criação de valor na empresa através da qualidade (big) de dados, análises e inteligência artificial; desenvolver habilidades e cultura de Qualidade 4.0 para pessoas de qualidade; cocriação de valor para o cliente; sistemas ciber-físicos e ERP para garantia e controle de qualidade.
<i>Ponsignon, Kleinhansb & Bressolles (2019) (E3)</i>	- Explorar e compreender como a função de gestão da qualidade (QM) contribui para a transformação digital de uma organização; - Pesquisa qualitativa indutiva.	O QM tem um grande potencial para apoiar a iniciativa de digitalização de uma organização. A estrutura conceitual emergente captura as competências exigidas por QM e delinea um roteiro apresentando oportunidades para o envolvimento de QM. A contribuição do estudo é desenvolver insights novos e relevantes para ajudar as organizações a empreender e realizar uma transformação digital.
<i>Yadav, Shankar & Singh (2020) (E4)</i>	- Objetivo: comparar o impacto da Indústria 4.0 / tecnologias emergentes de informação e comunicação, por exemplo, IOT, aprendizado de máquina,	O impacto de diferentes seqüências de implementação de SGQ, LSS e ICTs pode ser estudado. Implicações práticas - Usando este estudo, os profissionais podem identificar qual combinação de

	<p>inteligência artificial, robótica e computação em nuvem, em 22 indicadores de desempenho organizacional sob nove combinações de LSS e sistemas de gestão da qualidade;</p> <p>- Método: quantitativo.</p>	<p>LSS, Sistema de Qualidade e TIC resulta em melhor desempenho e sucesso rápido. Na frente teórica, o estudo confirma o impacto do LSS e do SGQ no desempenho organizacional. Originalidade / valor - Este estudo avalia o desempenho organizacional sob várias combinações possíveis de SGQ, LSS e TICs emergentes, que até agora eram inexploradas. Palavras-chave Lean Six Sigma (LSS), Sistema de gestão da qualidade (QMS), padrões ISO, Tecnologias emergentes de informação e comunicação (TICs), Indústria 4.0, Internet das coisas (IOT), Manufatura inteligente, Tipo de papel, Papel de pesquisa.</p>
<p>Crešnar, Potocan & Nedelko (2019) (E5)</p>	<p>- Objetivo: examinar como o uso de ferramentas de gestão apoia a prontidão das organizações de manufatura para a implementação da Indústria 4.0;</p> <p>- Método: quantitativo.</p>	<p>Os resultados mostram que o uso de seis sigma, gestão de qualidade total, identificação por radiofrequência, um <i>balanced score card</i>, prototipagem rápida, segmentação de clientes, declarações de missão e visão e transformação digital está positivamente associado à prontidão da Indústria 4.0. Inversamente, a terceirização e o planejamento estratégico estão negativamente associados à prontidão da Indústria 4.0, enquanto a manufatura enxuta, que é frequentemente enfatizada como a pedra angular da implementação da Indústria 4.0, não está associada à prontidão da Indústria 4.0 em nosso estudo.</p>
<p>Farahani, Brown, Loftis, Krick, Pichl, Vaculik & Pill (2019) (E6)</p>	<p>- Objetivos: Avaliar 12 fontes de dados online diferentes no processo de moldagem por injeção;</p> <p>- Método: quantitativo.</p>	<p>As curvas resultantes desses estudos são então analisadas para valores críticos e regressões de mínimos quadrados parciais (PLS) realizadas usando os valores extraídos como preditores e os índices de qualidade da peça final como respostas. Usando os coeficientes padrão da análise PLS, classificações das correlações entre os valores extraídos e os índices de qualidade da parte final são gerados, indicando quais fontes de dados</p>

- melhor detetaram variações nas partes produzidas finais para cada uma das três perturbações. Palavras-chave Indústria 4.0. Monitoramento de processos. Controle de qualidade automático. Moldagem por injeção. Sensores moldados. Análise de dados. Regressão de mínimos quadrados parciais (PLS). Modelagem preditiva.
- Ghobakhloo & Fathi (2020) (E7)* - Objetivo: demonstrar como as pequenas empresas de manufatura podem alavancar seus recursos de Tecnologia da Informação (TI) para desenvolver o sistema de manufatura digitalizado enxuto que oferece competitividade sustentada na era da Indústria 4.0.;
- Método: Estudo qualitativo.
- A transição da Indústria 4.0 requer a integração organizacional de muitas tecnologias modernas baseadas em TI e a digitalização de cadeias de valor inteiras. No entanto, a transição da Indústria 4.0 para fabricantes menores pode começar com a digitalização de certas áreas de operações em apoio às estratégias organizacionais centrais. O desenvolvimento de um sistema de manufatura digitalizado enxuto é uma estratégia de negócios viável para a sobrevivência corporativa no cenário da Indústria 4.0. Limitações / implicações da pesquisa - embora a implementação do sistema de manufatura digitalizado enxuto seja cara e desafiadora, essa estratégia de manufatura oferece competitividade corporativa superior no longo prazo.
- Villalba-Diez et al. (2019) (E8);* - Objetivo: demonstrar como uma aplicação de como um aplicativo de sensor de software Deep Learning pode ser combinado com uma câmara de controle de qualidade ótica de alta resolução para aumentar a precisão e reduzir o custo de um processo de inspeção visual industrial na Indústria de Impressão 4.0;
- Método: qualitativo.
- O sensor DNN desenvolvido atingiu uma taxa de precisão de classificação totalmente automatizada de 98,4%. Pesquisas futuras têm como objetivo usar esses resultados para três fins. Em primeiro lugar, para prever a quantidade de erros que um cilindro tem, para apoiar ainda mais a operação humana, mostrando a probabilidade de erro para o operador, e finalmente para decidir de forma autônoma sobre a qualidade do produto sem envolvimento humano.
- Nygaard, Colli & Wachrens (2020) (E9)* - Objetivo: propor uma estrutura de autoavaliação, que visa orientar as
- A estrutura visa permitir que organizações individuais avaliem seus processos continuamente a partir de

	<p>organizações na melhoria do desempenho de seus processos existentes por meio da integração da IoT;</p> <p>- Método: qualitativo, RSL.</p>	<p>uma perspectiva de fluxo de informações (ou seja, localização, recursos de processamento e uso), identificando o potencial de melhoria a ser aproveitado pela integração de tal tecnologia.</p>
<p>Vargas, Vijayan & Mork (2020) (E10)</p>	<p>- Objetivo: identificar estudos empíricos revisados por pares sobre RA em relação à indústria de construção naval e examina o estado da pesquisa atual sobre o tema, apresentando várias aplicações de RA concretas em engenharia marítima, produção, projeto, operação e manutenção;</p> <p>- Método: qualitativo.</p>	<p>O estudo perspectiva para novas pesquisas e oportunidades experimentais alinhadas com o desenvolvimento do conceito de fábrica de aprendizagem (Idealab) na Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia (NTNU) em Ålesund, na Noruega. Isso garantirá o uso eficaz dessa tecnologia da Indústria 4.0 como uma ferramenta de aprendizado e capacitadora de colaboração cruzada com a indústria marítima.</p>

O presente estudo coloca em destaque a importância da qualidade e tendo em conta a evolução do conceito, o qual tem acompanhado a evolução das sociedades, hoje fala-se de qualidade 4.0 e a qual é extremamente importante para a indústria 4.0.

Os estudos selecionados para esta RSL, refletem isso mesmo. A este respeito, o E1 (Carvalho et al., 2019), que procurou entender o estado atual e os desafios futuros da excelência, salienta que devem existir mais iniciativas de qualidade e que mais modelos industriais do futuro devem existir. No mesmo sentido, o E9 (Nygaard et al., 2020) realça a importância de uma estrutura de autoavaliação, defendendo que esta é crucial para as organizações melhorarem o seu desempenho, nomeadamente ao nível dos processos existentes por meio da integração da IoT. Os autores referem que a estrutura de autoavaliação permite avaliar os processos de forma contínua tendo por base a perspectiva de fluxo de informações, destacando o potencial de melhoria a ser utilizado pela integração da IoT.

Os estudos selecionados focam a indústria 4.0 e a sua relação com a qualidade, e tendo em conta os objetivos que orientaram esta RSL, o E5, realizado por Crešnar (et al., 2019), realça os benefícios do uso de ferramentas de gestão na indústria 4.0. O estudo revela que o uso de seis sigma, gestão de qualidade total, identificação por radiofrequência, um *balanced score card*, prototipagem rápida, segmentação de clientes, declarações de missão e visão e transformação digital, estão positivamente associados à prontidão da Indústria 4.0.

Um outro estudo (E10), no âmbito da qualidade e da indústria 4.0 e da engenharia marítima, perspetiva novas pesquisas e oportunidades experimentais alinhadas com o desenvolvimento do conceito de fábrica de aprendizagem o desenvolvimento do conceito de fábrica de aprendizagem. Os autores deste estudo (Vargas et al., 2020) defendem que a utilização de tecnologias da indústria 4.0 contribuirá para que esta seja uma ferramenta de aprendizagem e capacitação da colaboração cruzada com a ramo marítimo. De facto, através desta RSL, constata-se que o estudo das tecnologias da indústria 4.0 tem suscitado muito interesse e várias aplicações têm vindo a ser desenvolvidas, como é o caso do sensor DNN que atingiu uma taxa de precisão de classificação totalmente automatizada de 98,4% (Villalba-Diez et al., 2019). O estudo (E8) revela que o aplicativo de sensor de *software* Deep Learning pode ser combinado com uma câmara de controlo de qualidade ótica de alta resolução para aumentar a precisão e reduzir o custo de um processo de inspeção visual industrial na Indústria de Impressão 4.0 (Villalba-Diez et al., 2019).

O impacto das tecnologias e da indústria 4.0 na qualidade é inegável, podendo-se destacar o impacto positivo do LSS e do SGQ na *performance* da empresa, assim como das tecnologias emergentes de informação e comunicação (Yadav et al., 2020).

Os estudos focam a importância de se abordar, no âmbito do tratamento dos modelos industriais do futuro, o TQM, bem como ao nível da criação de valor e do desenvolvimento das habilidades e cultura de Qualidade 4.0 para pessoas de qualidade. Segundo Chiarini (2020) (E2), ao analisar a relação entre a indústria 4.0, a gestão da qualidade e TQM, destaca: criação de valor na empresa através da qualidade de dados, análises e inteligência artificial; desenvolver habilidades e cultura de Qualidade 4.0 para pessoas de qualidade; cocriação de valor para o cliente; sistemas ciber-físicos e ERP para garantia e controlo da qualidade. A gestão da qualidade tem um grande potencial para apoiar a iniciativa de digitalização de uma organização (Ponsignon et al., 2019).

Além disso, fica perceptível que a transição da Indústria 4.0 requer a integração organizacional de muitas tecnologias modernas baseadas em TI e a digitalização de cadeias de valor inteiras. É necessário ter presente que a transição da Indústria 4.0 requer a integração organizacional de muitas tecnologias modernas baseadas em TI e a digitalização de cadeias de valor inteiras (Ghobakhloo & Fathi, 2020). Contudo, a transição da Indústria 4.0 para fabricantes mais pequenos pode começar com a digitalização de certas áreas de operações em apoio às estratégias organizacionais centrais (Ghobakhloo & Fathi, 2020).

Para relacionar as ferramentas da qualidade com as tecnologias da indústria 4.0 será necessário ressaltar que os principais objectivos destas ferramentas são: identificar, definir, mensurar, avaliar e propor soluções aos problemas identificados a fim de melhorar os processos, por sua vez as tecnologias da I4.0, servem para aumentar e melhorar a eficiência das operações e, finalmente, a produtividade de novos modelos de negócios, serviços e produtos, (Oztemel e Gursev ,2020).

Tabela 8– Relação das Ferramentas da Qualidade com as Tecnologias 4.0

Ferramenta de qualidade	Objectivos	Tecnologia da Indústria 4.0	Relação
<i>Ciclo PDCA</i>	Controle da produção e melhoria continua dos processos e produtos.	Big Date, IOT.	Fácil acesso aos dados, ferramentas de gestão e análise dos dados na nuvem, rastreio de todas as ações realizadas no processo produtivo.
<i>Diagrama de Pareto</i>	Visualizar os problemas em partes e analisar individualmente.	Big Date, Cloud Computing.	O aumento da transparência e auditabilidade das operações e monitorar as condições destas para que não ocorram a menos que os objetivos de qualidade sejam atingidos
<i>Fluxograma</i>	descrever todas as atividades de um processo.	Big Date, Inteligência artificial.	A incorporação da tecnologia de análise com a tecnologia operacional auxiliará na automatização das tarefas relacionadas à conformidade e coleta de dados e a análise desta é feita de forma organizada de modo a sobreavisar possíveis problemas que antes não eram visíveis.

<i>Diagrama de Ishikawa</i>	Identificar as causas e efeitos relacionados com problemas detetados na empresa no decorrer do processo produtivo.	Big Date, Realidade virtual e aumentada.	O uso tecnologias de sensorial capaz de coletar informações de múltiplas fontes (Big Date) com finalidade de armazená-las integralmente e disponibilizar os mesmo em qualquer lugar e momento para a organização e tomada de decisão, essa tecnologia de detecção avançada e diagnostico dos processos e falhas facilita o rápido prognostico das condições dos processos.
<i>5W 2H</i>	implementar de decisões e planejar as ações de melhoria.	CPS, Iot.	Com a colaboração da dessa ferramenta o planeamento dos processos é feito em tempo real através da interação entre os processos computacionais com um controle dinâmico de informações e materiais e facilitando a tomada de decisão descentralizada.

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Zonnenshain & Kenett (2020), a qualidade 4.0 pode ter como base as mudanças de fornecer um serviço em vez de produto, agregar valor para os mercados e investir na qualidade dos modelos de negócios com finalidade das organizações entenderem a qualidade como conceito e a noção satisfação dos requisitos do cliente, estar a par das evoluções e mudanças no mundo de negócios e tecnológicos em especial no digital em prol da excelência e liderança de qualidade transformando assim o seu papel estratégico para agilidade e flexibilidade com eficiência e foco na melhoria contínua, com uma melhor adaptação e capacidade de entrega a esses novos cenários do mercado global. Uma das características interessantes da I4.0 é o uso do Big Data, e este, a disponibilidade de sensores podem coletar e analisar dados provenientes de várias partes

existentes nas fábricas, torna-os informações imprescindível em tempo real para tomada de decisões relacionadas ao estado atual, e com isso prever o estado futuro e otimizar os seus processo e operações (Lu, 2017) a coleta e a análise correta da gestão destes dados oriundos do digital (smartphones, tablets, netbooks, etc.) potencializa o controlo da qualidade de forma entender de uma maneira mais ampla no quesito satisfação e a ligação dos seus clientes em relação aos produtos e serviços oferecidos, o uso desta tecnologia fará com que organizações deixem de usar as ferramentas tradicionais de gestão da qualidade e processos (Pasquini, 2018). Com a Qualidade 4.0, as empresas passarão a automatizar atividades e utilizar soluções inovadoras no setor de qualidade, esta combina novas tecnologias com os métodos tradicionais de qualidade com o objetivo de melhorar esta área unindo assim o desempenho com a inovação. Com a implementação dos CPS na produção trará benefícios para o chão de fábrica com um substancial aumento da produtividade, eficiência e flexibilidade na rede produtiva e não só este permitirá otimização da tomada de decisão e rastreabilidade de todo o processo, (Junior e Saltorato, 2018). De acordo com KAGERMAN, et al., (2013), o uso da IoT, IoS (Internet of Services, uma ferramenta de suporte/apoio ao cliente que visa assegurar a rastreabilidade e a facilidade de configurar os pedidos e customizar o produto em tempo real) e a IoD (Internet of Date) proporciona um ambiente inteligente para a empresa, com máquinas inteligentes além de sistemas de armazenamento e unidade de produção com alto desenvolvimento de tecnologia digital e este permite uma completa integração de informações e sistema de comunicação englobando toda a cadeia de suprimentos desde os fornecedores de matérias primas até aos clientes finais, o que proporciona vantagens para a gestão da qualidade dentro da indústria 4.0, dada a facilidade de obter dados essenciais para um controlo da produção automatizado e centralizado em relação as ferramentas tradicionais. Com isso pode-se afirmar que a qualidade 4.0 está a acompanhar o desenvolvimento tecnológico e segundo Belém e Gasparotto, (2019), as suas iniciativas são:

- Aumentar a velocidade e a qualidade da tomada de decisão;
- Aumentar (ou aperfeiçoar) a inteligência humana;
- Antecipar às mudanças, revelar preconceitos e adaptar-se as novas circunstâncias e conhecimentos;
- Melhorar a transparência, a rastreabilidade e a audibilidade;
- Aprender a cultivar a autoconsciência e outras consciências como habilidades;
- Evoluir nos relacionamentos, nos limites organizacionais e no conceito de confiança para revelar oportunidades de melhoria contínua e novos modelos de negócios.

Capítulo 5 - Conclusões

A Qualidade 4.0, é um termo recente e inovador, com um nível reduzido de referências encontradas nas principais bases de pesquisa científica, o seu conceito relaciona a Qualidade no ambiente da I4.0. Neste trabalho detalhou-se sobre a evolução da Qualidade em termos de conceito e as principais eras impactantes para esta área, conhecer o seu trajeto é importante para se perceber essa evolução, para aonde vamos e qual legado nos estamos a carregar, pois até hoje acarreta-se frutos daqueles que se dedicaram a estudar sobre, e que em muito contribuíram para esta evolução, que hoje faz parte do dia a dia de muitas empresas. Hoje pode-se dizer que está a nascer uma nova era da qualidade e que esta não veio para substituir os métodos anteriores, mas sim acrescentar novas funcionalidades através dos avanços na automação, digitalização, virtualização e da customização em massa.

A Qualidade 4.0 aumentou as perspectivas e as funcionalidades da Qualidade em função das mudanças impostas ao novo cenário industrial, pois antes ela estava centrada no controlo onde a coleta e a análise de informações ocupava o lugar da tomada de decisão e da direção estratégica da empresa e com esta nova realidade toda essa coleta de informações é automatizado isso devido a sua relação com I4.0 com sistemas ciberfísicos e fábricas inteligentes geram uma nova configuração industrial e novos modelos de negócios, baseados na introdução de dispositivos móveis, IoT, IoS, IoD, Big Data-Analytics, cloud manufacturing, manufatura aditiva, RFID, realidades aumentada e virtual, inteligência artificial, CPS, transferidos do digital para os sistemas inteligentes e estes conectam-se em tempo real com finalidade de gerar maior conectividade na produção.

A elaboração deste trabalho foi feita através de uma revisão sistemática da literatura dando destaque as tabelas 7 e 8, que agregam os artigos científicos relacionados com o tema, foram analisados e filtrados por ano de publicação, artigos disponíveis integralmente, título, leitura do resumo e do texto completo. Os resultados foram claros, concluindo-se que as ferramentas da qualidade são importantes para a indústria 4.0, tendo acompanhado a evolução das sociedades e a própria evolução tecnológica. Como resposta a pergunta de investigação e ao objetivo principal elaborou-se a tabela 9, que representa a relação das ferramentas tradicionais da qualidade com as tecnologias da I4.0 pode se afirmar quanto ao Sistema de Gestão de Qualidade de acordo com a NP 9001 estas são abordadas de modos diferentes em relação em um ambiente I4.0 pois estas devem estar integradas vertical e horizontalmente, e de forma digital, quanto a

integração vertical engloba-se as máquinas, equipamentos, os recursos e produtos finais da organização e para a resolução disto, visto, a grande quantidade de volume dados que podem ser gerados, o Big Data representa uma solução para a gestão e análise destes dados, e a utilização do RFID oferece a rastreabilidade de todo processo facilitando o diagnóstico de problemas e possíveis soluções. Com a integração horizontal possibilita o rastreio e o monitoramento dos produtos em tempo real bem como o status e a interligação entre o produto e o cliente, em parte com a implementação dos CPS facilita a inclusão digital de todas as informações desde os requisitos dos clientes, estrutura dos produtos e os processos de fabricação. Por fim este novo conceito de qualidade apresenta uma oportunidade para as organizações analisarem as principais causas de falhas no processo de qualidade e isto é digitalmente, e como resultado a isso o aumento da produtividade.

Referências Bibliográficas

Albers, A., Gladysz, B., Pinner, T., Butenko, V., & Stürmlinger, T. (2016). Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems. *Procedia CIRP*, 52, 262–267.

Alcácer, V. & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Revista Internacional de Ciências da Engenharia e Tecnologia*, 22, 899-919.

Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3, 16-21.

Andrade, D. (2018). *Gestão pela Qualidade*. Belo Horizonte: Poisson.

Bagheri, B., Yang, S., Kao, H. & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 28, 1622-1627.

Bahrin, M., et al. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6-13), 137-143.

Barçante, L. (2009). A Evolução da Qualidade. In *Qualidade Total: Uma nova visão brasileira*. [Online] Disponível em: <http://professorbarcante.files.wordpress.com/2009/05/capitulo1.pdf> [Acedido em 15/11/2020].

Benavides-Velasco, C., Quintana-García, C., & Marchante-Lara, M. (2014). Total quality management, corporate social responsibility and performance in the hotel industry. *International Journal of Hospitality Management*, 41, 77-87.

Belém, J. E. B., Gasparotto, A. M. S. (2019). O novo conceito de qualidade na evolução da indústria 4.0. *Simtec - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga*, 6, pp 187-197. Disponível em: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/437/305> [Acedido em 21/13/2021].

Bloss, R. (2016). Industrial Robot: Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programming ease, portability and cost while addressing many new applications. *Industrial Robot, an International Journal*, 43, 463-468.

Borlido, D. (2017). Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção. Dissertação de Mestrado. Porto: Universidade do Porto.

Capezio, P. & Morehouse, D. (1995). *A practical Guide to Total Quality Management*. National Press Publications.

Carvalho, A., Sampaio, P., Rebentisch, E. & Saraiva, P. (2019). 35 years of excellence, and perspectives ahead for excellence 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*.

Cheng, X., Zhang, R. & Yang, L. (2016). Sistema de energia centrado no consumidor para veículos elétricos e rede inteligente. *IEEE Intelligent Systems*, 31, 97-101.

Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *TMQ Journal*, 32, 603-616.

Crešnar, R., Potocan, V. & Nedelko, Z. (2019). Speeding Up the Implementation of Industry 4.0 with Management Tools: Empirical Investigations in Manufacturing Organizations. *Sensors*, 20, 3469.

Costa, P. (2013). A Qualidade – Evolução do Conceito. Texto da lição para prestação de provas públicas de avaliação de competência pedagógica e técnico-científica. Porto: ISCAP.

Crosby, P. (1988). *The Eternally Successful Organization*. New York: McGraw-Hill.

Dalenogare, L., Benitez, G., Ayala, N., & Frank, A. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*.

Desoutter Industrial Tools. (2020). *Revolução Industrial – Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0*. [Online] Disponível em: <https://www.desouttertools.com.br/industria-4-0/noticias/507/revolucao-industrial-da-industria-1-0-a-industria-4-0> [Acedido em 15/11/2020].

Dias, S. (2011). Implementação da Metodologia Lean Seis-Sigma – O Caso do Serviço de Oftalmologia dos Hospitais da Universidade Coimbra.

Donato, H., Donato, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. *Acta Médica Portuguesa*. (2019). Disponível em: <https://doi.org/10.20344/amp.11923>.

- Farahani, S., Brown, N., Loftis, J., Krick, C., Pichl, F., Vaculik, R. & Pilla, S. (2019). Evaluation of in-mold sensors and machine data towards enhancing product quality and process monitoring via Industry 4.0. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 02.
- Feigenbaum, A. (1991). *Total Quality Control*. New York: McGraw-Hill.
- Ferreira, P., 1991. Definir e Medir a Qualidade de Cuidados de Saúde. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 93-112.
- Fink, A. (2014). *Conducting research literature reviews: from the Internet to paper*. Los Angeles: Sage Publications.
- Fonseca, L. (2015). *A ISO 9001:2015: Desafios e Oportunidades*. Porto.
- Fortin, M. (2003). *O Processo de Investigação – Da Concepção à Realização*. Loures: Lusociência.
- Frank, A., Dalenogare, L. & Ayala, N. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 1-27.
- Ganhão, F. & Pereira, A. (1992). *A Gestão da Qualidade – como implementá-la na empresa*. Lisboa: Editorial Presença.
- Garvin, D. (1987). Competing on The Eight Dimensions of Quality. *Harvard Business Review*, 86, 87, 101-109.
- Ghobakhlo, M. & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31, 1-30
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Berkeley: Apress.
- Gomes, P. (2004). A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufaturados aos serviços de informação. *Cadernos BAD*, 2, 6-18.
- Imperatori, E. (1999). *Mais de 1001 conceitos para melhorar a qualidade dos serviços de saúde: glossário*. Lisboa: Edinova.
- Instituto Português da Qualidade. (2015). *Norma Portuguesa – Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho - Requisitos*. Lisboa: IPQ.

Jacob, D. (2017) Quality 4.0 – Impact and strategy handbook. Disponível em: <https://blog.insresearch.com/quality40> [Acedido em 22/02/2021].

Junior, G. & Saltorato, P. (2018). Impactos da Indústria 4.0 na Organização do Trabalho: Uma Revisão Sistemática da Literatura. *Revista de Produção Online*, 18, 743-769.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. Disponível em: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> [Acedido em 22/02/2021].

Khan, M., Wu, X., Xu, X. & Dou, W. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. *2017 IEEE International Conference on Communications*, 1-6.

Lima, S. & Erdmann, A. (2006). A enfermagem no processo de Acreditação Hospitalar em um serviço de urgência e emergência. *Acta Paulista Enfermagem*, 19(3), 271-278.

Lima, A. & Pinto, G. (2019). Indústria 4.0: um novo paradigma para indústria. *Revista Interface Tecnológica*, 16(2), 299-311.

Longo, R. (1996). Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação. [Online] Disponível em: http://desafios2.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0397.pdf. [Acedido em 20/11/2020].

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.

Ma, H.-D. (2011). Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges. *Journal of Computer Science and Technology*, 26, 919-924.

Machado, L.B. (2020). Qualidade em tempos de indústria 4.0. Disponível em: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=artigo/qualidade-em-tempos-de-industria-4-0/>. [Acedido em 19/03/202].

Marshall Júnior, I. 2003. *Gestão da Qualidade*. Rio de Janeiro: Editora FGV.

Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S. & Zhang, J. (2011). Cloud Computing – The business perspective. *Decision Support Systems*, 51(1), pp. 176-189.

Martins, R. & Costa Neto, P. (1998). Indicadores de Desempenho para a Gestão pela Qualidade Total: Uma Proposta de Sistematização. *Gestão & Produção*, 5, 298-311.

Mata, V., Costa, C. H. O., Fernandes, D. C., Siva, E. O., Cardoso, F. A., Andrade, J. C., Rezende, L. P., Oliveira, M. F., Souza, N., Machado, P. E. V., Rodrigues, R. P. M. (2018). Indústria 4.0: a Revolução 4.0 e o Impacto na Mão de Obra. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, 13, 17-22.

Mehtaa R., Jyoti, S. & Kavita, K. (2018). Internet of Things: Vision, Applications and Challenges. *Procedia Computer Science*, 132, 1263-1269.

Mendes, C., Silva, C., Costa, D., Sousa, J., Monteiro, M. & Azevedo, N. (2013). Jidoka: Pilar De Sustentação Do Sistema Toyota De Produção Nas Organizações. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão.

Mezomo, J. (2001). *Gestão da qualidade na saúde: princípios básicos*. São Paulo: Manole.

Morais, V. (2014). *Implementação de Ferramentas Lean Six Sigma numa Linha de Produção*. Dissertação de Mestrado. Braga: Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

M&S Industrial. (2020). *Monitoramento Remoto – Internet of Things (IoT)*. [Online] Disponível em: https://mesindustrial.com.br/monitoramento-remoto_internet-of-things-iot/ [Acedido em 17/11/2020].

Napoleão, B., (2018). 5W2H. [Online]. Disponível em: <https://ferramentasdaqualidade.org/5w2h/>. [Acedido em 11/12/2020].

Nygaard, J., Collia, M., Wæhrensa, B.V. (2020). A self-assessment framework for supporting continuous improvement through IoT integration. *Procedia Manufacturing*, 42, 344–350

Oliveira, O. (2009). Gestão da Qualidade: Introdução à História e Fundamentos. In: O. Oliveira (Ed.), *Gestão da Qualidade: tópicos avançados*. São Paulo: Cengage Learning.

Oztemel, E. & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127-182.

Paladini, E. P. (2007). *Gestão da Qualidade: teoria e prática*. São Paulo: Atlas.

Paladini, E. P., Bouer, G., Ferreira, J. J. A., Carvalho, M. M., Miguel, P.A.C., Samohyl, R. W., Rotondaro, R.G. (2012). *Gestão da Qualidade: teoria e casos*. Rio de Janeiro.

Pasquini, T. (2018). *Proposta de Ferramenta para Relacionar os Princípios da Gestão da Qualidade aos Pilares da indústria 4.0: A Influência da Indústria 4.0 na Área da Qualidade*. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Peshkin, M. (2001). Cobot architecture. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4), 377-390.

Pires, A., 2007. *Qualidade, Sistemas de Gestão da Qualidade*. Lisboa: Edições Sílabo.

Ponsignon, F., Kleinhans, S., & Bressolles, G. (2019). The contribution of quality management to an organisation's digital transformation: a qualitative study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30, 17-34.

Sanches, K., Rabin, E. & Teixeira, P. (2018). Cenário da publicação científica dos últimos 5 anos sobre cuidados paliativos em oncologia: revisão de escopo. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 52, 1-9.

Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., & Charrua-Santos, F. M. B. (2018). Industry 4.0: challenges and opportunities. *Revista Produção E Desenvolvimento*, 4, 111-124.

Santos, H., Pereira, M., Silva, F. & Ferreira, L. (2018). A Novel Rework Costing Methodology Applied To a Bus Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*, 17, 631-639.

Saraiva, P. & Orey, J. (1999). *Inovação e Qualidade*. SPI.

Sebrae. (2016). *Saiba o que é a Indústria 4.0 e descubra as oportunidades que ela gera*. 2016. [Online] Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saiba-o-que-e-a-industria-40-e-descubra-as-oportunidades-que-ela-gera,11e01bc9c86f8510VgnVCM1000004c00210aRCRD> [Acedido em 22/11/2020].

Shingo, S. (1989). *O Sistema Toyota de Produção – Do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Ed. Bookman.

Silva, L. (2017). A importância das práticas de gestão de qualidade para sua empresa. [Online]. Disponível em: <https://blog-pt.checklistfacil.com/a-importancia-das-praticas-de-gestao-de-qualidade-para-sua-empresa/>. [Acedido em 08/12/2020].

Silva, L. (2019). Qualidade 4.0: descubra o que é e quais as principais mudanças no setor. [Online]. Disponível em: <https://blog-pt.checklistfacil.com/qualidade-4-0/>. [Acedido em 05/12/2020].

Silva, M. A. G. (2009). Desenvolvimento e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade. Dissertação de Mestrado. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Sordan, J., Oprime, P., Pimenta, M., Rodrigues, Y. & Marinho, C. (2019). Robótica Colaborativa à luz da Gestão da Produção: Revisão de Literatura e Oportunidades para Pesquisas Futuras. *Simpósio de Engenharia, Gestão e Inovação*, 1-11.

Sousa, M. & Baptista, C. (2011). Como fazer investigações, dissertações, teses e relatórios segundo Bolonha. Lisboa: Lidel.

Souza, R. P., Hekis, H. R., Ribeiro, R. M., Valentim, R. A. M. (2014). Avaliação e monitoramento de processos de produção utilizando recurso da gestão à vista em uma grande indústria do setor têxtil no estado do rio grande do Norte. *Revista de Administração e Inovação*, São Paulo, 11, 162-180.

Tels, J. engeteles.com.br. (2017). Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/> [Acedido em 21/01/2021]

Velásquez, N., Estevez, E. & Pesado, P., 2018. Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures. *Journal of Computer Science and Technology*, 18, 1-29.

Valentina, L. (2019). Qualidade, Inovação e a Indústria 4.0 e seus Desafios. [Online]. Disponível em: <https://producaoemfoco.org/producaoemfoco/article/view/761>. [Acedido em 13/12/2020].

Villalba-Diez, J., Schmidt, D., Gevrs, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz, B. & Wellbrock, W. (2019). Deep Learning for Industrial Computer Vision Quality Control in the Printing Industry 4.0. *Sensors*, 19, 3987.

Wang, L., Törngren, M. & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517-527.

Wang, S., Wan, J., Li, D. & Zhang, C. (2016.) Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1-10.

Withanachchi, N., Handa, Y., Karandagoda, K., Pathirage, P., Tennakoon, N., & Pullaperuma, D. (2007). TQM emphasizing 5-S principles: A breakthrough for chronic managerial constraints at public hospitals in developing countries. *International Journal of Public Sector Management*, 20, 168-177.

WK Sistemas. (2017). Saiba como implementar boas práticas para gestão da qualidade. [Online]. Disponível em: <https://blog.wk.com.br/saiba-como-implantar-boas-praticas-para-gestao-da-qualidade/>. [Acedido em 08/12/2020].

Yadav, N., Shankar, R. & Singh, S. (2020). Impact of Industry4.0/ICTs, Lean Six Sigma and quality management systems on organisational performance. *TQM Journal*, 32, 815-835.

Yamada, T. T., Poltronieri, C. F., do Nascimento Gambi, L., & Gerolamo, M. C. (2013). Why does the implementation of quality management practices fail? A qualitative study of barriers in Brazilian companies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 81, 366-370.

Zhong, R., Xu, X., Klotz, E. & Newman, S. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3, 616-630.

Zink, K. (2007.) From total quality management to corporate sustainability based on a stakeholder management. *Journal of Management History*, 13, 394-401.

Zonnenshain, A., Kenett, R. S. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, 1-14.