



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARUAN KARÍM ALEMSAN

**Um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de
manufatura**

Florianópolis

2023

Maruan Karím Alemsan

**Um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de
manufatura**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

ALEMSAN, MARUAN KARÍM

Um modelo de avaliação do nível de maturidade da
Qualidade 4.0 para empresas de manufatura / MARUAN KARÍM
ALEMSAN ; orientador, EDSON PACHECO PALADINI, 2023.
179 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão da Qualidade. 3.
Maturidade da Qualidade 4.0.. 4. Qualidade 4.0. I.
PALADINI, EDSON PACHECO. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção. III. Título.

Maruan Karím Alemsan

Um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de manufatura

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Edson Pacheco Paladini, Dr.(a)

Instituição UFSC

Prof.(a) Marina Bouzon, Dr.(a)

Instituição UFSC

Prof.(a) Otávio José de Oliveira, Dr.(a)

Instituição UNESP

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof.(a) Edson Pacheco Paladini, Dr.(a)

Orientador(a)

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC (PPGEP/UFSC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

Ao Professor Orientador Edson Pacheco Paladini, pelos ensinamentos e cuja orientação detalhada e dedicada foi fundamental para esta pesquisa.

Aos membros da banca Profa. Marina Bouzon e Prof. Otávio José de Oliveira por aceitarem o convite e contribuírem com sugestões de melhorias.

Aos meus pais Karím Afif Alemsan e Marise Martello Alemsan por promoverem condições para que eu chegasse até aqui.

À minha esposa, Paula Bertolini de Paiva, pelo seu constante incentivo e apoio emocional durante todo o processo.

Às minhas irmãs Najla Alemsan e Nárima Alemsan pelo auxílio e dicas.

Aos meus colegas Márcio Henrique Fronteli e Júlia Kich Chaves por compartilharem comigo esse percurso acadêmico e pela parceria.

Aos respondentes dos questionários A e B bem como à gestora de processos e sistemas da empresa estudada pela disponibilidade e contribuição com a pesquisa.

Aos meus colegas de trabalho do IEL/SC e FIESC.

Por fim, estendo meu agradecimento a todos os demais que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

O mundo está presenciando a 4ª Revolução Industrial, também denominada de Indústria 4.0. A Indústria 4.0 pode ser definida como um novo modelo de negócios no qual as empresas utilizam tecnologias como big data, computação em nuvem, sistemas ciber-físicos, internet das coisas, inteligência artificial para produzir produtos personalizados de acordo com o perfil dos consumidores. A interação com o mercado pode ser otimizada por meio da utilização dessas tecnologias na gestão da qualidade, originando a Qualidade 4.0. A Qualidade 4.0 pode possibilitar uma adaptação mais ágil frente às alterações do mercado, especialmente em situações de alta volatilidade. No entanto, para que as empresas possam aplicar ao máximo as vantagens da Qualidade 4.0, elas precisam avaliar sua maturidade nessa área para que sejam propostas ações de melhoria. Nesse sentido, este trabalho propõe um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 considerando o contexto brasileiro, visando estabelecer um conjunto de melhorias para os processos de Gestão e Avaliação da Qualidade. Para isso, foi realizado um estudo de caso fundamentado em uma pesquisa qualitativa teórico-conceitual, o qual foi composto por um mapeamento bibliográfico, dois questionários e duas entrevistas presenciais. No mapeamento bibliográfico, e com base no suporte teórico, foram definidos os fatores-chave da maturidade da Qualidade 4.0. Posteriormente, para validar e verificar o nível de importância desses fatores-chave no contexto brasileiro, foi aplicado o Questionário A para 53 especialistas em gestão da qualidade com experiência em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade. Já o Questionário B foi respondido por 11 profissionais que atuam na gestão da qualidade em indústrias de manufatura brasileira com a finalidade de avaliarem a viabilidade das melhorias propostas. E, por fim, foi realizado um estudo de caso, por meio de duas entrevistas presenciais, em uma indústria de manufatura de equipamentos elétricos catarinense para consolidar o modelo proposto, bem como sua aplicação com o objetivo de avaliar o nível de maturidade da Qualidade 4.0. O modelo desenvolvido foi composto por 24 fatores-chave e 10 tecnologias, divididos em 4 dimensões: (1) Cultural; (2) de Gestão; (3) Tecnológica e (4) de Integração, fornecendo um diagnóstico da situação atual e propondo 31 melhorias priorizadas, visando aumentar o nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de manufatura. Por meio deste estudo, conclui-se que os fatores-chave e tecnologias estão alinhados com o contexto brasileiro e as melhorias, no geral, são viáveis em termos de custo-benefício, recursos (financeiros, humanos e tecnológicos) e tipo de produto fabricado para as indústrias respondentes.

Palavras-chave: Gestão da Qualidade; Qualidade 4.0; Maturidade da Qualidade 4.0.

ABSTRACT

The world is witnessing the 4th Industrial Revolution, also called Industry 4.0. Industry 4.0 can be defined as a new business model in which companies use technologies such as big data, cloud computing, cyber-physical systems, internet of things, artificial intelligence to produce personalized products according to consumer profiles. Interaction with the market can be optimized through the use of these technologies in quality management, creating Quality 4.0. Quality 4.0 can enable more agile adaptation to market changes, especially in situations of high volatility. However, for companies to be able to fully apply the advantages of Quality 4.0, they need to assess their maturity in this area so that improvement actions can be proposed. In this sense, this work proposes a model for assessing the maturity level of Quality 4.0 considering the Brazilian context, aiming to establish a set of improvements for the Quality Management and Assessment processes. To this end, a case study was carried out based on qualitative theoretical-conceptual research, which was composed of a bibliographic mapping, two questionnaires and two face-to-face interviews. In the bibliographic mapping, and based on theoretical support, the key factors of Quality 4.0 maturity were defined. Subsequently, to validate and verify the level of importance of these key factors in the Brazilian context, Questionnaire A was applied to 53 quality management experts with experience in Industry 4.0, Quality 4.0 and/or Quality Management and Assessment. Questionnaire B was answered by 11 professionals who work in quality management in Brazilian manufacturing industries with the purpose of evaluating the feasibility of the proposed improvements. And finally, a case study was carried out, through two face-to-face interviews, in an electrical equipment manufacturing industry in Santa Catarina to consolidate the proposed model, as well as its application with the objective of evaluating the maturity level of Quality 4.0. The model developed was composed of 24 key factors and 10 technologies, divided into 4 dimensions: (1) Cultural; (2) Management; (3) Technological and (4) Integration, providing a diagnosis of the current situation and proposing 31 prioritized improvements, aiming to increase the level of maturity of Quality 4.0 for manufacturing companies. Through this study, it is concluded that the key factors and technologies are aligned with the Brazilian context and the improvements, in general, are viable in terms of cost-benefit, resources (financial, human and technological) and type of product manufactured for the responding industries.

Keywords: Quality management; Quality 4.0; Quality 4.0 Maturity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Visão esquemática do estudo	18
Figura 2 – Fatores motivadores e barreiras da Qualidade 4.0	33
Figura 3 - Estrutura do mapeamento sistemático	39
Figura 4 - Etapas de seleção dos estudos	40
Figura 5 – Etapas de desenvolvimento	41
Figura 6 – Gráfico do Perfil dos respondentes - Escolaridade	43
Figura 7 - Gráfico do Perfil dos respondentes – Tempo de Experiência	43
Figura 8 - Gráfico do Perfil dos respondentes – Cargo	44
Figura 9 – Diagrama dos itens mais importantes dos níveis de maturidade da Qualidade 4.0 analisados	55
Figura 10 – Histogramas dos fatores-chave	68
Figura 11 – Representação visual da Importância dos fatores-chave	74
Figura 12 - Representação visual da Importância das tecnologias da Q.4.0	75
Figura 13 - Representação visual da Importância das Dimensões	76
Figura 14 – Fluxograma do Modelo Desenvolvido.....	106
Figura 15 – Exemplo de preenchimento da Autoavaliação presente na Aba 1	107
Figura 16 – Exemplo de visualização da Aba 2 (2. Cálculos autoavaliação)	107
Figura 17 – Exemplo de visualização da Aba 3 (3. Gráficos Autoavaliação).....	108
Figura 18 – Exemplo de visualização da Aba 4 (4. Melhorias Propostas).....	108
Figura 19 – Roteiro de Implementação do Modelo.....	109
Figura 20 – Gráfico do Nível de Maturidade dos Fatores-chave da empresa estudada	111
Figura 21 - Gráfico do Nível de Maturidade das Tecnologias da Qualidade 4.0 na empresa estudada.....	112
Figura 22 - Gráfico do Nível de Maturidade das Dimensões da Qualidade 4.0 na empresa estudada.....	113
Figura 23 – Resumo da Viabilidade das melhorias propostas do modelo.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Breve visão geral das quatro revoluções industriais.....	24
Quadro 2 – Fatores motivadores e barreiras.....	32
Quadro 3 – Definições propostas para os termos utilizados	37
Quadro 4 – Número de indústrias por setor	45
Quadro 5 - Modelos de Maturidade descritos nas referências bibliográficas	51
Quadro 6 – Quadro resumo dos níveis de maturidade da Qualidade 4.0 analisados .	54
Quadro 7 - Lacunas dos modelos de maturidade estudados.....	56
Quadro 8 - Fatores-chave (motivadores) e tecnologias da maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro	67
Quadro 9 - Nível de Importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0	73
Quadro 10 – Nível de Maturidade dos Fatores-chave da empresa estudada.....	110
Quadro 11 - Nível de Maturidade das Tecnologias da Qualidade 4.0 na empresa estudada	111
Quadro 12 – Nível de Maturidade por dimensão e geral	112
Quadro 13 - Respostas obtidas das melhorias mais prioritárias e importantes para as indústrias respondentes.....	114
Quadro 14 – Respostas obtidas pela viabilidade, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes.....	115
Quadro 15 - Respostas obtidas pela viabilidade custo/benefício, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes.....	115
Quadro 16 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos humanos, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes.....	116
Quadro 17 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos tecnológicos, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes	117
Quadro 18 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos financeiros, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes	117
Quadro 19 - Respostas obtidas pela viabilidade quanto ao tipo de produto fabricado, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes	118

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	12
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	16
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	17
1.6	INSERÇÃO DO ESTUDO NO PPGE/UFSC.....	18
1.7	ESTRUTURA DO TEXTO	19
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	20
2.2	MANUFATURA	21
2.3	QUALIDADE 4.0.....	22
2.3.1	Tecnologias da Qualidade 4.0	25
2.3.2	Fatores motivadores	28
2.3.3	Barreiras.....	30
2.4	MODELOS DE MATURIDADE.....	34
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O SUPORTE TEÓRICO	35
3.	MÉTODO DE PESQUISA	38
3.1	CARACTERIZAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDO	38
3.2	MÉTODO APLICADO AO SUPORTE TEÓRICO	39
3.3	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	40
3.4	COLETA DE INFORMAÇÕES	41
3.5	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	42
3.6	SUPORTE PRÁTICO	45

4.	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E MODELO PROPOSTO	47
4.1	ANÁLISE DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0 DESCRITOS NA LITERATURA	47
4.2	LACUNAS OBSERVADAS.....	56
4.3	PROPOSIÇÃO DE FATORES-CHAVE DE MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0	59
4.3.1	Fatores-chave (motivadores) de maturidade da Qualidade 4.0	59
4.3.2	Nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0.....	68
4.4	AUTOAVALIAÇÃO	76
4.5	PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS.....	79
4.6	PROPOSIÇÃO DE MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0	105
4.7	ROTEIRO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	106
4.8	ESTUDO DE CASO	109
4.8.1	Resultado do nível de maturidade da empresa estudada.....	110
4.8.2	Comentários sobre o modelo pela empresa estudada.....	113
4.9	AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DAS MELHORIAS	113
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	119
	REFERÊNCIAS.....	124
	APÊNDICES	133

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são descritos o contexto em que a pesquisa se insere, o problema de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa, a delimitação do estudo, a inserção no PPGEP/UFSC e a estrutura da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

Nos últimos três séculos, o mundo passou por diversas transformações tecnológicas, econômicas e sociais que impactaram significativamente o modelo de negócios e de produção das indústrias. Estas grandes transformações, impulsionadas principalmente pela utilização de novas tecnologias nos processos produtivos, são denominadas de revoluções industriais. Atualmente, a sociedade está presenciando a quarta revolução industrial, comumente denominada de Indústria 4.0 (OOSTHUIZEN, 2022).

A Indústria 4.0 consiste em um novo modelo de negócio que utiliza as novas tecnologias do século XXI para fabricar produtos personalizados de acordo com o perfil dos consumidores. Por meio do uso de ferramentas como big data, computação em nuvem, sistemas ciber-físicos, realidade aumentada, manufatura aditiva, internet das coisas, robôs autônomos, inteligência artificial, dentre outras tecnologias as empresas são capazes de fabricar de modo interativo e digitalizado produtos que sejam adequados aos consumidores (PALADINI, 2019). Posto isso, a Indústria 4.0 impacta na organização como um todo. E não seria diferente com a área da gestão da qualidade das empresas.

A gestão da qualidade não está presente somente nos processos produtivos, mas também está intrinsecamente relacionada com a situação atual do mercado (PALADINI, 2019). Essa interação com o mercado pode ser otimizada por meio da aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão da qualidade, originando a Qualidade 4.0 (DAROCZI; HUSTI; SADER, 2021).

A Qualidade 4.0 pode ser entendida como uma integração das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos tradicionais da qualidade, como Controle da Qualidade, Garantia da Qualidade e Gestão Total da Qualidade, com o propósito de melhorar o desempenho das operações produtivas de modo a fornecer bens tangíveis e serviços de alta qualidade de forma consistente ao mercado (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

A utilização de uma ou mais tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas tradicionais da qualidade possibilita a fabricação de produtos ou a disponibilização de serviços de forma customizada em um modo interativo em tempo real com o mercado, viabilizando uma adaptação mais ágil frente às alterações do mercado, principalmente com as mudanças

inesperadas e repentinas decorrentes, por exemplo, da pandemia de Covid-19, e de outras crises. A pandemia de Covid-19 gerou diversas alterações no comportamento dos brasileiros, como um maior uso dos meios digitais para realizar compras, consultas médicas (telemedicina), Educação à Distância (EaD), a necessidade de uma contínua atualização tecnológica, ênfase à higiene pessoal e coletiva, fomento às medidas de saneamento e, especialmente sob a perspectiva corporativa, houve uma busca maior por um modelo de gestão empresarial caracterizado pela flexibilidade e foco no consumidor (PALADINI, 2020).

Segundo Alemsan *et al.* (2022), é fundamental as empresas se adaptem ao cenário da pandemia, inovando seus processos bem como respeitar as medidas sanitárias. De acordo com Chaves *et al.* (2022), as empresas precisam responder pela demanda de inovação, com investimentos em novas tecnologias.

Uma forma de avaliar o grau de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 na Gestão da Qualidade em uma empresa é por meio da avaliação do seu nível de maturidade da Qualidade 4.0. Ou seja, quanto maior for o nível de maturidade da Qualidade 4.0 na organização, mais consistentes são os modelos de Gestão e Avaliação da Qualidade fundamentados nos conceitos, ferramentas e métodos da Indústria 4.0. Estes, por sua vez, poderão gerar uma melhor integração, interação com o mercado, satisfação do cliente e redução de custos (KURUBA, 2022).

Um maior nível de maturidade da Qualidade 4.0 melhora a eficiência e o desempenho operacional, sendo fundamental para as empresas, pois elas enfrentam a adaptação à turbulência ambiental de mudanças no comportamento e preferências do cliente, bem como na recuperação da pandemia de COVID-19 (MTOTYWA, 2022).

Os modelos de maturidade da Qualidade 4.0 são uma importante ferramenta de diagnóstico e melhoria, mostrando os pontos fortes e fracos para priorizar ações visando atingir níveis de maturidade mais altos na gestão da qualidade em empresas que estão aderidas de alguma forma com os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 (NENADÁL *et al.*, 2022).

Considerando o contexto supracitado, pode-se concluir que o mundo está passando por diversas transformações tecnológicas, econômicas e sociais que influenciam diretamente o modelo de negócios e de produção das indústrias de manufatura, principalmente para fabricar produtos e/ou disponibilizar serviços de modo customizado, interativo e em tempo real. Para isso, pode-se aplicar modelos de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 para diagnosticar e propor melhorias visando não só elevar seu nível de maturidade, mas também uma maior integração, interação e adaptação mais ágil do processo produtivo com o mercado. Porém,

nem todos os modelos são adequados para isso. Com base nisso, no próximo item é abordado o problema de pesquisa.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Hughes *et al.* (2022), cada vez mais o setor manufatureiro mundial está aderindo aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, com níveis crescentes de automação, utilizando sistemas ciber-físicos, Big Data, Internet das Coisas e Inteligência Artificial para uma fabricação flexível, adaptável, inteligente e personalizada. De acordo com Nimawat e Gidwani (2022), na atual conjuntura as indústrias manufatureiras estão migrando seus processos de uma orientação de produção em massa para uma produção customizada, visando atender às novas demandas mercadológicas.

Alinhadas a essa tendência, as empresas brasileiras também estão utilizando as tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos organizacionais e produtivos. De acordo com a Confederação Nacional das Indústrias (2022), entre 2016 e 2021 houve um aumento de 48% para 69% no número de empresas que utilizam pelo menos uma das tecnologias digitais relacionadas à Indústria 4.0, o que caracteriza uma tendência crescente não somente na digitalização, mas também na busca por uma maior customização dos produtos nas empresas de manufatura do País. A utilização da automação digital para linhas flexíveis que fabricam produtos personalizados aumentou mais de três vezes desde 2016, passando de 8% para 27% em 2021.

Entretanto, a Indústria 4.0 ainda é pouco desenvolvida nas empresas brasileiras. Apesar do elevado índice de adoção das tecnologias 4.0, muitas das indústrias ainda estão no estágio inicial do processo de digitalização. Dentre elas, 26% utilizam entre 1 e 3 tecnologias e apenas 7% utilizam 10 ou mais (CNI, 2022). Nem todas as empresas estão preparadas para a digitalização e fabricação de produtos customizados.

Para as empresas aderirem aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos de gestão da qualidade é necessário que elas tenham determinados requisitos para sua implementação. Os requisitos específicos para a gestão da qualidade na Indústria 4.0 podem ser determinados por meio dos modelos de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0.

De acordo com a fundamentação teórica detalhada no capítulo 2, o problema de pesquisa está relacionado com a principal lacuna encontrada, que pode ser formulado a seguir:

- Conforme as referências bibliográficas analisadas, não foi encontrado um modelo simples e funcional para avaliar o grau de maturidade da Qualidade 4.0, considerando o contexto

brasileiro, visando estruturar sistemas de qualidade flexíveis e adaptáveis à dinâmica do mercado.

Assim, o presente trabalho estruturou os requisitos necessários para que as empresas de manufatura estudadas atinjam um maior nível de maturidade e assim incorporem as tecnologias e os conceitos da Indústria 4.0 nas suas práticas atuais relacionadas à qualidade, de modo a aumentar a produtividade, a melhorar a qualidade dos produtos e a diminuir os custos de produção.

Esses requisitos são estruturados por meio do desenvolvimento de uma nova ferramenta capaz de diagnosticar, avaliar e propor melhorias que contribuam para aumentar e consolidar o nível de maturidade no setor de gestão e avaliação da qualidade das indústrias de manufatura, tendo em vista as características da Indústria 4.0.

O modelo desenvolvido é um importante instrumento de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0, que subsidia a tomada de decisão dos gestores para a proposição e implementação de melhorias visando aumentar sua aderência aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. Com o uso do modelo desenvolvido, as empresas poderão atender com mais agilidade e assertividade os mercados consumidores e à sociedade, principalmente quando há alta volatilidade, como as geradas por pandemias (p. ex. Covid-19) e por conflitos armados (p. ex. Rússia e Ucrânia).

Portanto, considerando o contexto supracitado, este estudo se dedica a responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais são os fatores-chave e melhorias necessárias para que as empresas de manufatura brasileiras possam aumentar seu nível de Maturidade da Qualidade 4.0?”

Para responder a esta questão, o presente estudo vai investir no desenvolvimento de um modelo de melhorias bem definido, para consolidar o nível de maturidade da Qualidade 4.0 nas empresas consideradas.

1.3 OBJETIVOS

A seguir são listados os objetivos geral e específicos do presente estudo.

1.3.1 Objetivo Geral

Estruturar um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de manufatura de modo estabelecer um conjunto de melhorias para os processos de Gestão e Avaliação da Qualidade.

1.3.2 Objetivos Específicos

1 - Determinar os fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 com base na identificação de modelos de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 obtidos pela revisão bibliográfica atualizada e em periódicos qualificados.

2 – Avaliar o nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 com base no contexto brasileiro.

3 - Propor um novo modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 com base nas referências bibliográficas e nos estudos práticos feitos.

4 – Consolidar o modelo proposto para a avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 a partir de estudos de caso.

5 - Determinar a viabilidade deste modelo de Gestão e Avaliação da Qualidade em empresas de manufatura, por meio de um questionário.

A seguir, é apresentada a justificativa do estudo.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A implementação da Qualidade 4.0 é essencial para a competitividade das empresas na Indústria 4.0, permitindo uma adaptação mais ágil frente às mudanças do mercado e uma melhoria contínua dos processos de gestão e avaliação da qualidade. Atualmente, de acordo Maganga e Taifa (2022), a Qualidade 4.0 é um conceito atual e emergente para a gestão da qualidade nas indústrias de manufatura. Os resultados bibliométricos elaborado pelos autores revelaram que as publicações de Qualidade 4.0 iniciaram-se em 2016 e aumentaram exponencialmente nos últimos dois anos.

Para garantir a efetividade da implementação da Qualidade 4.0, é fundamental avaliar o nível de maturidade das empresas nessa área, a fim de identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria. Um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0

permite que as empresas tenham uma visão clara de sua situação atual em relação à Qualidade 4.0 e possam definir um plano de ação para alcançar seus objetivos.

Além disso, pode auxiliar as indústrias de manufatura a estabelecer relações mais próximas com seus clientes, fornecedores e parceiros de negócios, o que pode levar a uma maior colaboração e inovação, gerando maior satisfação do cliente, fidelização e novas oportunidades de negócios.

Visto isso, considera-se que esta pesquisa é oportuna ao contexto da Indústria 4.0. Conforme Wagire *et al.* (2021), avaliar o nível de maturidade das organizações é reconhecido como um tópico de grande interesse no domínio da pesquisa da Indústria 4.0, uma vez que é decisivo para as empresas compreenderem sua situação atual de amadurecimento nos processos, estratégias de negócios e sistemas de informação orientados à transformação digital da Indústria 4.0.

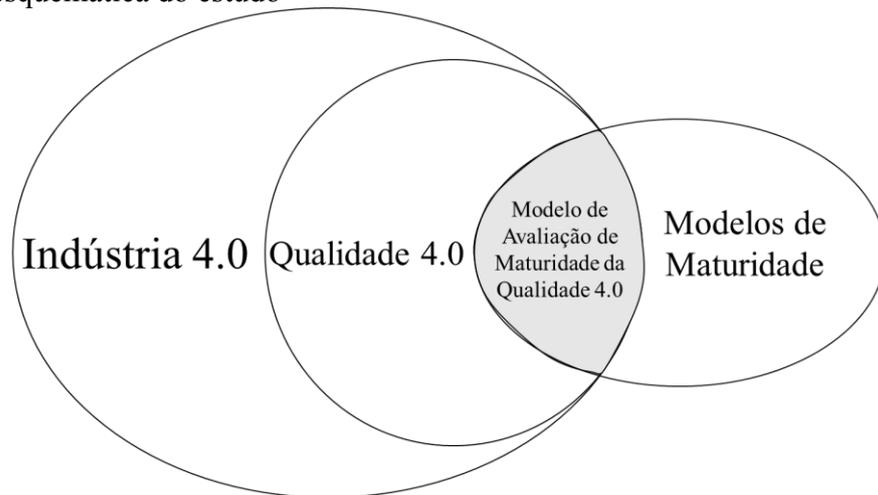
Assim, o presente estudo é pertinente à atual temática da Indústria 4.0 na gestão da qualidade, além de ser relevante para as indústrias de manufatura, já que a avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 permite uma análise precisa da situação atual e, a partir dela, os gestores podem direcionar ações de melhoria com maior segurança, visando obter resultados melhores e mais alinhados com o planejamento estratégico da empresa, bem como com as expectativas do mercado e da sociedade.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo é direcionado para os modelos de Avaliação da Maturidade da Qualidade 4.0, envolvendo elementos básicos de temáticas como Modelos de Maturidade, Qualidade 4.0 e Indústria 4.0.

A Figura 1 mostra uma visão esquemática da delimitação da pesquisa.

Figura 1 –Visão esquemática do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da viabilidade de implantação do modelo está delimitada pelos casos práticos estudados, embora este modelo tenha características que permitam a determinação de efeitos multiplicadores do estudo feito. Cabe destacar que, como a empresa de manufatura estudada é uma indústria orientada à Indústria 4.0, com produtos com capacidade de se conectar em tempo real e de forma interativa, ela é considerada adequada ao modelo proposto.

1.6 INSERÇÃO DO ESTUDO NO PPGEP/UFSC

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC possui as seguintes áreas de concentração: Engenharia de Produto, Processos e Serviços, Ergonomia, Gestão de Operações e Logística e Cadeia de Suprimentos.

Observa-se que o presente estudo está inserido no contexto do PPGEP da UFSC, mais especificamente na Área de Concentração de Gestão de Operações, que se destina ao estudo, à análise e à implementação de sistemas adequados à implantação e à operação das atividades industriais e de geração de serviços de forma sustentável e adaptadas ao atual contexto da indústria 4.0.

Também está inserido na Linha de Pesquisa de Excelência Operacional que visa investigar, desenvolver e implementar sistemas de apoio à gestão e à organização da implantação e do funcionamento dos sistemas de produção e na linha de pesquisa de Transformação Digital da Indústria, que consiste em analisar, estudar e promover a divulgação dos modelos de gestão de processos, da produção de bens tangíveis e da geração de serviços no contexto da Indústria 4.0, com ênfase nas alterações dos modelos de negócios e dos suportes humano e tecnológico associados a este novo cenário.

1.7 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente documento é estruturado nos seguintes capítulos principais: 1 – Introdução; 2 – Fundamentação Teórica, 3- Método de Pesquisa, 4. Desenvolvimento do Estudo e Modelo Proposto, 5 – Conclusões e sugestões para futuros estudos.

No capítulo 1 é apresentada a introdução, contendo a contextualização do estudo, o problema de pesquisa, objetivos geral e específicos, justificativa, delimitação do estudo, inserção do estudo no PPGE/UFSC e estrutura do texto. Já no capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica (Indústria 4.0, Qualidade 4.0, Tecnologias da Qualidade 4.0, Modelos de Maturidade) além das considerações sobre o suporte teórico.

O terceiro capítulo aborda o método de pesquisa, constituído da caracterização científica do estudo, método aplicado ao suporte teórico, etapas de desenvolvimento, coleta e análise de informações, caracterização da amostra e suporte prático.

Posteriormente, os resultados obtidos são descritos no capítulo 4 juntamente com a análise dos modelos de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 descritos nas referências bibliográficas, a proposição de fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0, a proposição do modelo de avaliação do Nível de Maturidade da Qualidade 4.0, a autoavaliação, a proposição de melhorias, o roteiro de implementação, o estudo de caso e a avaliação da viabilidade das melhorias propostas.

E, por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e sugestões para estudos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, é apresentado o embasamento teórico relacionado aos seguintes temas pertinentes a esse trabalho: Indústria 4.0, Qualidade 4.0, Tecnologias da Qualidade 4.0, fatores motivadores, barreiras e Modelos de Maturidade.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 foi criado por um grupo de representantes dos setores empresarial, governamental e acadêmico em uma iniciativa para elevar a competitividade da Alemanha na indústria da manufatura. A Indústria 4.0, comumente associada à 4ª Revolução Industrial, está relacionada com a utilização das tecnologias de sistemas ciber-físicos, internet das coisas, big data, computação em nuvem, inteligência artificial, *blockchain*, realidade aumentada, simulação virtual, automação das máquinas e manufatura aditiva nos processos produtivos das fábricas (GURSEV; OZTEMEL, 2020; ZHENG, *et al.*, 2021).

Segundo Gursev e Oztemel (2020), a Indústria 4.0 pode ser definida como uma filosofia de manufatura, formada por sistemas de automação modernos com alto nível de autonomia e trocas de dados, que permite a produção de produtos personalizados de modo mais ágil, customizado e inovador. As empresas terão uma maior capacidade de inovação, elevação da produtividade, maior flexibilidade, aumento da competitividade, fabricação de produtos mais customizados bem como uma tomada de decisão imparcial, ou seja, baseada em critérios técnicos, e também em tempo real.

Já para Paladini (2019), a Indústria 4.0 não está relacionada somente com novos processos produtivos e tecnologias, mas sim, com um novo modelo de negócios fundamentado na busca contínua dos consumidores por produtos personalizados. As novas tecnologias do século XXI permitiram que as fábricas fossem capazes de personalizar os seus produtos de acordo as preferências dos clientes. Esta comunicação com o mercado é realizada de modo interativo e em tempo real, onde o cliente acompanha e interfere no processo produtivo.

Conforme Sigov *et. al.* (2022), a Indústria 4.0 está em constante evolução, com a tendência de integrar cada vez tecnologias de ponta, como 6G, Inteligência Artificial Avançada e Computação Quântica, nas tecnologias da Indústria 4.0, como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, entre outras e gerar a Indústria 5.0.

De acordo com Maddikunta *et. al.* (2022), a Indústria 5.0 consiste na próxima revolução industrial na qual a criatividade dos seres humanos é utilizada de forma colaborativa com as máquinas e as tecnologias para fabricar produtos cada vez mais personalizados.

Para o momento, a Indústria 5.0 não foi considerada no presente estudo devido a Indústria 4.0 ser ainda incipiente no Brasil. Embora se tenha um significativo avanço das tecnologias, o mercado brasileiro ainda possui alguns gargalos como a indisponibilidade de profissionais especializados, ecossistema de inovação inadequado e desigualdade digital (PEREIRA; SANTOS, 2022).

De acordo com os estudos analisados por Culot *et al* (2020), há ambiguidades na definição de Indústria 4.0, comparando-a com outros conceitos como manufatura inteligente ou manufatura em nuvem.

Para este trabalho, como ainda não há um consenso do conceito da Indústria 4.0 nos artigos estudados acima, foi proposta a seguinte definição: A Indústria 4.0 consiste em um novo modelo de negócios no qual as empresas utilizam tecnologias como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, big data, computação em nuvem, inteligência artificial, *blockchain*, realidade aumentada, simulação virtual, automação das máquinas e manufatura aditiva com a finalidade de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado (PALADINI, 2019; GURSEV; OZTEMEL, 2020; ZHENG *et al.*, 2021; HUGHES *et al.*, 2022; NIMAWAT; GIDWANI, 2022).

2.2 MANUFATURA

Os sistemas de manufatura abrangem os aspectos físicos, humanos e tecnológicos da produção. Sua configuração física, é constituída por máquinas, estações de trabalho, robôs e diversos outros equipamentos, dispostos em diferentes layouts. Esses elementos são integrados ou conectados fisicamente por meio de sistemas. Já os aspectos virtuais são compostos por meio de controles computacionais e aplicativos de software. Além disso, é fundamental destacar que as pessoas desempenham um papel central nos sistemas de produção, contribuindo de forma significativa em seu planejamento, projeto, operação e controle (ELMARAGHY *et al.*, 2021).

A Indústria 4.0 introduz novas oportunidades mudanças nos processos de manufatura das indústrias, tornando-se cada vez mais complexos, dinâmicos e conectados, transformando a era da manufatura tradicional na era da manufatura inteligente da Indústria 4.0 (ARINEZ, *et al.*, 2020; RAI *et al.*, 2021).

A manufatura inteligente possibilita uma produção em massa de produtos altamente personalizados por meio de processos de fabricação automatizados e interoperáveis entre as diferentes etapas e sistemas de produção, otimizando dinamicamente o processo e os

parâmetros de planejamento, ao mesmo tempo em que é sincronizado em campo com a execução da fabricação (LU; XU; WANG, 2020; BARARI *et al.*, 2021; SAHOO; LO, 2022).

Nesse contexto, os modelos de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 desempenham um papel fundamental para diagnosticar e aprimorar os processos de manufatura, visando uma maior aderência com os princípios da Indústria 4.0 e, conseqüentemente, permitindo que as empresas se mantenham competitivas e acompanhando as inerentes oscilações do mercado.

2.3 QUALIDADE 4.0

O conceito de Qualidade 4.0 surgiu inicialmente em 2017 em um artigo elaborado por Dan Jacob, no qual a definiu como sendo a combinação das novas tecnologias da Indústria 4.0 com os métodos tradicionais de gestão da qualidade. Esse processo tem a finalidade de proporcionar à organização atingir melhores índices de excelência operacional, desempenho e inovação por meio da aplicação das tecnologias de Internet das Coisas, computação em nuvem, sistemas ciber-físicos, manufatura aditiva, aprendizado de máquinas, inteligência artificial, *big data*, realidade virtual e realidade aumentada. (JACOB, 2017).

Os autores definem Qualidade 4.0 como sendo uma abordagem estendida para a gestão da qualidade, na qual as tecnologias da Indústria 4.0 são integradas às práticas tradicionais de qualidade, como Controle da Qualidade, Garantia da Qualidade e Gestão Total da Qualidade, com o objetivo de melhorar o desempenho, a eficiência das atividades de qualidade além de fornecer produtos de alta qualidade de forma consistente ao mercado. (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

A gestão da qualidade precisou se adequar a este novo modelo de negócios, integrando as tecnologias de sistemas ciber-físicos, internet das coisas, big data e gêmeos digitais, e assim originando a Qualidade 4.0. De acordo com Maganga e Taifa (2022) e Christou *et al.* (2022), a Qualidade 4.0 refere-se a uma abordagem moderna de gestão da qualidade na qual são utilizadas tecnologias de integração e digitalização da Indústria 4.0. Igualmente, segundo Baran e Polat (2022), devido as tecnologias da Indústria 4.0 estarem cada vez mais sendo utilizadas pelas empresas, é imprescindível que o gerenciamento de qualidade e o gerenciamento de processos permaneçam atrelados à digitalização.

Segundo Kumar, Sahithi e Revanth (2020), a Qualidade está relacionada aos custos envolvidos com a conformidade (custos de prevenção e avaliação) e com a não-conformidade (custos de falhas internas e externas). Com a aplicação das tecnologias da I4.0, esses custos poderiam ser minimizados.

Nesse sentido, os autores Kumar, Sahithi e Revanth (2020) propuseram o conceito de Indústria da Qualidade (IoQ), uma nova dimensão que relaciona as tecnologias da Indústria 4.0, como por exemplo Internet das Coisas, Sistemas Ciber-físicos, *Big Data* e Gêmeos Digitais, com a Qualidade. Mais especificamente, a IoQ é composta pelo equilíbrio entre as tecnologias, a confiança e os Custos da Qualidade (custos relacionados à conformidade e não-conformidade). Além disso, a IoQ implica em desenvolver planos, projetos e processos com o objetivo de implementar a I4.0 na empresa, envolvendo todas as pessoas da empresa (da alta administração ao trabalhador de chão de fábrica) de modo a aumentar as chances de fabricar um produto sem defeitos e satisfazer seus clientes.

Conforme Kumar, Revanth e Sahithi (2020), a qualidade acompanhou as 4 revoluções industriais, considerando as tecnologias disponíveis na época e o modelo de produção. Na primeira revolução industrial, onde as máquinas à vapor eram a tecnologia predominante, a qualidade era focada principalmente na autoinspeção. Posteriormente, com o advento da energia elétrica do século XIX, houve a produção em massa na qual a inspeção, controle, garantia e padrões militares eram o objetivo da qualidade. Já na terceira revolução industrial, no século XX, as tecnologias de comunicação, informação e eletrônicos proporcionaram uma produção automatizada e interconectada, onde eram utilizados softwares para a gestão, melhoria e planejamento da qualidade. E, por fim, na 4ª Revolução Industrial, a qualidade possui como característica ter dados em tempo real e internet das coisas, de modo a acompanhar uma produção inteligente, flexível e distribuída.

O Quadro 1 apresenta uma breve visão das quatro revoluções industriais relacionadas com a tecnologia disponível na época, produção e qualidade.

Quadro 1 - Breve visão geral das quatro revoluções industriais.

	Indústria 1.0	Indústria 2.0	Indústria 3.0	Indústria 4.0
Início	Século XVIII	Século XVIII	Século XVIII	Século XVIII
Tecnologia Disponível	Máquinas à vapor	Energia elétrica	Informação e tecnologias de comunicação, eletrônicos	Sistema <i>ciber-físico</i> , internet das coisas, interconexão
Produção	Produção mecânica	Produção em massa	Produção automatizada e interconectada	Produção inteligente, flexível e distribuída
Qualidade	Qualidade 1.0 Autoinspeção	Qualidade 2.0 Inspeção, controle, garantia, padrões militares	Qualidade 3.0 Software para Sistema de gestão da qualidade, melhoria e planejamento (Toyotismo, Lean Manufacturing, Jidoka)	Qualidade 4.0 Qualidade contínua com dados em tempo real e internet das coisas

Fonte: Adaptado de Kumar, Revanth e Sahithi (2020)

Analisadas estas referências bibliográficas, conclui-se que a gestão da qualidade é influenciada pelas tecnologias características de cada revolução industrial. Mais especificamente, a Qualidade 4.0 está diretamente relacionada com as tecnologias da Indústria 4.0 e com um modelo de negócio orientado à customização e à interatividade em tempo real com o mercado.

Além disso, os modelos digitais de inspeção, oriundos da Indústria 4.0, transformaram alguns modelos de Avaliação da Qualidade desenvolvida por Atributos em Avaliação da Qualidade desenvolvida por Variáveis, tornando a avaliação da qualidade muito mais precisa e confiável, além de não a tornar dependente das características dos inspetores.

Para este trabalho, com base nos aspectos em comum das definições encontradas, adotou-se a seguinte definição de Qualidade 4.0: A Qualidade 4.0 consiste na utilização de uma ou mais tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas tradicionais da qualidade com a finalidade de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado (PALADINI, 2019; ANTONY, DOUGLAS, SONY, 2020; KUMAR, REVANTH, SAHITHI, 2020; JACOB, 2017; MAGANGA, TAIFA, 2022; CHRISTOU *et al.*, 2022).

2.3.1 Tecnologias da Qualidade 4.0

Neste item, são apresentadas Tecnologias da Qualidade 4.0.

Radziwill (2018) propõe as seguintes 11 tecnologias características da Qualidade 4.0: (1) tecnologias de detecção como códigos QR e RFID, (2) sensores e Internet das Coisas, (3) computação em nuvem, (4) Big Data, (5) Aprendizado de Máquina, (6) Aprendizado Profundo, (7) Inteligência Artificial, (8) Ciência de dados, (9) Blockchain, (10) Manufatura aditiva e (11) Realidade Aumentada. Ao utilizar as tecnologias da Indústria 4.0, a empresa pode fabricar produtos e disponibilizar serviços de forma inteligente e conectada, agregando valor e diferenciando-se da concorrência (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

Os códigos de resposta rápida, em inglês *Quick Response Code (QR Code)*, foram criados inicialmente na década de 1990 pela empresa japonesa Denso-Wave, pertencente ao grupo Toyota. Considerado como uma evolução do código de barras, o *QR Code* consiste em um código bidimensional no qual pode ser escaneado por dispositivos com câmera acoplada, como por exemplo os telefones celulares e alguns equipamentos da linha de produção. Apesar desta tecnologia ter sido criada há mais de 25 anos e já ser padronizada pela ISO:18004 no ano de 2000, sua utilização cresceu exponencialmente, principalmente nas tecnologias de detecção e entrada de dados da Indústria 4.0 (JAIN *et al*, 2021).

A coleta de dados de modo digital por meio de chips de identificação por radiofrequência, em inglês *Radio-Frequency Identification (RFID)*, códigos de barras, códigos QR e outros meios automatizados são cruciais para eliminar as limitações oriundas da coleta manual de dados (EMBLEMSVAG, 2020).

A segunda tecnologia característica da Qualidade 4.0 é a Internet das Coisas, em inglês *Internet of Things (IoT)*. A IoT permite que objetos virtualmente interconectados compartilhem serviços e recursos por meio de ferramentas de detecção, computação e comunicação (LI; XU, 2020). A aplicação destas tecnologias no contexto industrial é denominada de Internet das Coisas Industrial, em inglês, *Industrial Internet of Things (IIoT)*. Com a aplicação dessas tecnologias é possível melhorar a qualidade da experiência do usuário, em inglês, *Quality of experience (QoE)* bem como a qualidade de serviços, em inglês, *Quality of Services (QoS)* (ZIKRIA *et al*, 2021).

A terceira tecnologia utilizada pela Qualidade 4.0 é a Computação em Nuvem. Conforme Diaby e Rad (2017), a maioria dos autores utilizam a seguinte definição proposta pelo *National Institute of Standards and Technology (NIST)*: “A computação em nuvem é um modelo para habilitar o acesso por rede ubíquo, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação (como redes, servidores, armazenamento,

aplicações e serviços) que possam ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços”. Além disso, a Computação em Nuvem apresenta as seguintes 5 características: (1) serviço sob demanda; (2) acesso via rede; (3) compartilhamento de recursos; (4) elasticidade e (5) serviço mensurável.

Em termos práticos, Schmitt *et al.* (2020) desenvolveram uma nova solução de inspeção de qualidade fundamentada em *Machine Learning* juntamente com a Computação em Nuvem. Aplicada em uma indústria de manufatura, essa nova solução otimizou a inspeção dos parâmetros de qualidade e os processou em tempo real por meio da Computação em Nuvem, possibilitando, maior dinamicidade e agilidade.

Na Qualidade 4.0, os dados dos processos são gerados, coletados e analisados em tempo real. O desenvolvimento de sensores e os sistemas ciber-físicos da Indústria 4.0 permitem que uma grande quantidade de dados seja gerada principalmente relacionados às suas condições de operação e manutenção, permitindo maior entendimento das necessidades dos clientes de forma holística, pois quase todas as necessidades dos clientes podem ser mapeadas e analisadas e, conseqüentemente, otimizar a qualidade da conformidade e o desempenho dos produtos e/ou serviços. Para isso, é fundamental a empresa adquirir a capacidade de utilizar o Big Data em seus processos. (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

O *Big Data* pode ser definido como um grande conjunto de dados que requerem soluções escalonáveis não tradicionais para aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e visualização desses dados. Essa tecnologia apresenta características como volume (grande quantidade de dados), variedade (dados obtidos de diversas fontes e formatos), velocidade (processamento de dados ágil), veracidade (autenticidade dos dados) e valor (os dados devem ser úteis de alguma forma) (XU; DUAN, 2019; GUPTA; RANI, 2019).

A quinta tecnologia característica da Qualidade 4.0 é o Aprendizado de Máquina, em inglês, *Machine Learning*. De acordo com Mahesh (2020), o Aprendizado de Máquina pode ser definido como sendo algoritmos e modelos estatísticos capazes de realizar uma tarefa específica sem serem programados explicitamente para a função. Além disso, os algoritmos de Aprendizado de Máquina podem ser fundamentados em aprendizagem supervisionada, não supervisionada, semi-supervisionada, por reforço, multitarefa, em conjunto, redes neurais, e baseada em instâncias.

Já o Aprendizado Profundo, em inglês, *Deep Learning*, é uma tecnologia oriunda do Aprendizado de Máquina, porém mais avançada, fundamentada principalmente em redes neurais, semelhante às conexões entre as células do sistema nervoso humano. O Aprendizado Profundo é capaz de resolver uma variedade de problemas, como reconhecimento de padrões,

classificação e agrupamento de imagens, reconhecimento de fala, detecção de objetos, processamento de linguagem natural, regressão, análise preditiva, entre outros (SHRESTHA; MAHMOOD, 2019).

De modo mais abrangente e englobando o aprendizado de máquina e o aprendizado profundo está a sétima tecnologia característica da Qualidade 4.0, a Inteligência Artificial, em inglês, *Artificial Intelligence*. Segundo Wang (2019), Wang (1995) propôs a seguinte definição de Inteligência Artificial: “Inteligência é a capacidade de um sistema de processamento de informações se adaptar ao seu ambiente enquanto opera com conhecimento e recursos insuficientes”.

Já a oitava tecnologia, a Ciência de Dados, em inglês, *Data Science*, consiste em todos os processos e técnicas utilizadas pelos analistas para a limpeza, preparação e análise de dados. As tecnologias associadas ao *Data Science* fundamentam-se na interdisciplinaridade como estatística, informática, computação, comunicação, gestão e sociologia para estudar dados e seus ambientes (incluindo domínios e outros aspectos contextuais, como aspectos organizacionais e sociais) para transformar dados em percepções e decisões, seguindo uma determinada metodologia (CAO, 2017).

A nona tecnologia característica da Qualidade 4.0 é o protocolo de confiança, em inglês, *Blockchain*. O *Blockchain* pode ser definido como uma cadeia de blocos utilizada para armazenar e compartilhar dados de maneira distribuída, transparente e resistente a violações. Cada bloco consiste em dados e está vinculado a outros blocos por meio de ponteiros. Essas ligações garantem a integridade e a resistência à violação. Essa tecnologia melhora a qualidade de vários aplicativos no que diz respeito à velocidade, segurança, facilidade de uso e confidencialidade (BODKHE *et al.*, 2020).

Já com relação à Manufatura Aditiva, por meio de tecnologias como estereolitografia, sinterização seletiva a laser, modelagem por deposição de material fundido e fusão de feixe de elétrons é possível fabricar produtos customizados conforme as diversas necessidades dos clientes. A Manufatura Aditiva pode ser um dos principais componentes de inovação no desenvolvimento de novos produtos (HALEEM; JAVAID, 2019).

E, por fim, Realidade Aumentada é a última tecnologia da Qualidade 4.0 proposta pelo autor. Segundo Palmarini *et al.* (2018), a Realidade Aumentada (AR) pode ser definida por tecnologias capazes de integrar o mundo real com objetos virtuais em 3 dimensões de modo interativo. Essas tecnologias AR têm sido aplicadas em uma ampla gama de setores como turismo, entretenimento, marketing, medicina, logística, manufatura, manutenção, entre outros. Mais especificamente, Segovia *et al.* (2015) aplicaram a realidade aumentada como

ferramenta para monitorar a qualidade em uma linha de produção, tendo como principal benefício a redução da duração das auditorias.

2.3.2 Fatores motivadores

Em uma análise ampla, os fatores motivadores para a implementação da Qualidade 4.0 permitem a busca por informações mais confiáveis, facilitam a implementação de programas de gerenciamento de qualidade baseados em *big data*, melhoram a satisfação do cliente, aumentam a produtividade e reduzem os custos e tempo dos processos (ANTONY *et al.*, 2021). A seguir, são descritos alguns dos fatores motivadores da Qualidade 4.0.

O primeiro fator de motivação está relacionado ao suporte da alta administração para a Qualidade 4.0. Esse suporte pode ser definido como sendo o grau em que os executivos da alta administração entendem a importância da Qualidade 4.0 para a organização bem como sua disposição para apoiar ações visando sua adequada implementação (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020; ANTONY *et al.*, 2021).

O segundo fator de motivação refere-se à Qualidade 4.0 estar alinhada à visão e à estratégia da organização de modo a facilitar o atingimento de seus objetivos de longo prazo e adquirir vantagem competitiva. A forma como a visão e a estratégia são disseminadas entre na cultura organizacional poderá auxiliar as empresas a se adaptarem melhor às ações da Qualidade 4.0. (ANTONY *et al.*, 2021).

O terceiro fator refere-se à Qualidade 4.0 proporcionar aos gestores uma tomada de decisão fundamentada em dados. A tomada de decisão pode ser definida como um processo decisório de seleção de um caminho a ser seguido dentre as diversas alternativas possíveis com base em dados, conhecimentos, habilidades e experiências dos gestores e de sua equipe (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020). Muitas vezes, os gestores selecionam a melhor alternativa de forma intuitiva, baseando-se somente em suas próprias experiências, valores e crenças individuais. Decisões parciais, fundamentadas exclusivamente nas percepções pessoais dos líderes, podem ser equivocadas por não serem escolhas racionais, podendo até mesmo comprometer os resultados da empresa. Neste contexto, com a finalidade de se obter uma escolha mais confiável e assertiva aos objetivos estratégicos da empresa, os gestores devem priorizar uma tomada de decisão fundamentada essencialmente em dados (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020). Por possibilitar informações confiáveis e em tempo real, ferramentas da Qualidade 4.0 que utilizam inteligência artificial, internet das coisas, computação em nuvem e *big data* contribuem para uma tomada de decisão baseada em dados precisos bem como critérios técnicos claros e confiáveis. Entretanto, para que isso ocorra, é

necessário que a Qualidade 4.0 esteja aderida de alguma forma à cultura, à visão estratégica da empresa, à liderança dos gestores bem como ao suporte da alta administração à Qualidade 4.0 (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020).

O quarto fator motivador é a interoperabilidade. Também considerada como um dos princípios da Indústria 4.0, a interoperabilidade pode ser definida como a capacidade que um sistema tem de se comunicar de modo transparente com outro sistema. No contexto da Qualidade 4.0, a interoperabilidade pode estar presente quando um sistema de informações estratégicas, como por exemplo softwares fundamentados em *Balanced Scorecard* (BSC) e *Enterprise Resource Planning* (ERP), comunicam-se diretamente com softwares de outras áreas como, por exemplo, desenvolvimento de produtos. Essa interoperabilidade permite um alinhamento e ajuste automático e em tempo real da linha de produção com as flutuações do mercado (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020).

Ao contrário da gestão da qualidade tradicional, a Qualidade 4.0 pode utilizar as novas tecnologias da Indústria 4.0 nos seus processos, como por exemplo óculos e luvas inteligentes para controle de não-conformidades, simulação por realidade virtual, impressão em 3D, dentre outras ferramentas. É primordial o adequado treinamento e incentivo aos colaboradores na utilização das tecnologias da Qualidade 4.0, sendo que este corresponde quinto fator de motivação da Qualidade 4.0 (ANTONY *et al*, 2021).

Mais especificamente, algumas empresas estão utilizando as tecnologias da Indústria 4.0, como por exemplo Internet das Coisas e Sistemas Ciber-físicos, para otimizar seus processos produtivos. Com isso, o ambiente de trabalho tende a se tornar mais automatizado e integrado, no qual algumas funções repetitivas e simples executadas pelos profissionais da qualidade poderão ser realizadas pelas novas tecnologias. São exigidas dos profissionais da qualidade novas habilidades e competências, como a capacidade de resolução de problemas complexos, inteligência emocional bem como a capacidade de aplicação das ferramentas da Qualidade 4.0 (ANTONY *et al*, 2021).

Para liderar a Qualidade 4.0 é necessário um estilo de liderança que seja capaz de promover a inovação e o aprendizado entre os colaboradores. Em vista disso, os líderes devem inspirar, motivar e orientar as atividades para obter um maior alinhamento possível das práticas de gestão da qualidade com os conceitos da Indústria 4.0 de modo a atingir os objetivos organizacionais. A liderança voltada à Qualidade 4.0 corresponde a um fator de motivação da Qualidade 4.0 (ANTONY *et al*, 2021). A Qualidade 4.0 exige um estilo de liderança que considere inovação e aprendizado como valores fundamentais para ajudar a conduzir a empresa em direção à excelência – fator 6 (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

Outro fator de motivação é um adequado sistema de treinamento e gestão do conhecimento alinhado à Qualidade 4.0 (Fator 7). (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

A cultura organizacional voltada para a Qualidade 4.0 (Fator 8) é um dos fatores de motivação mais importantes para a Qualidade 4.0 nas empresas. A Qualidade 4.0 pode proporcionar maior transparência dos dados, conectividade e colaboração entre os funcionários, sendo necessário as empresas terem uma cultura aberta e receptiva para se adaptar a essas mudanças. O conjunto de normas, crenças e valores compartilhados entre os colaboradores deve adequar-se à essa nova realidade (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020; ANTONY *et al*, 2021).

Outro fator de motivação proposto por Antony *et al.* (2021), refere-se ao alinhamento dos programas de qualidade para atender as necessidades dos clientes (fator 9). As empresas orientadas aos clientes não somente produzem produtos e serviços excelentes, mas sim buscam satisfazer as necessidades por meio de processos centrados nos clientes.

O sistema de gestão de fornecedores eficaz corresponde a outro fator de motivação da Qualidade 4.0 proposto pelos autores (Fator 10). Este sistema permite monitorar, inspecionar, auditar e analisar fornecedores periodicamente com o objetivo de garantir a qualidade da matéria prima. Além disso, os fornecedores podem participar ativamente do processo de desenvolvimento do produto pela empresa, de modo a possibilitar o fornecimento da matéria-prima nos padrões adequados (ANTONY *et al*, 2021).

Para fabricar produtos e serviços com eficiência, é de suma importância que as empresas utilizem a Qualidade 4.0 na integração vertical, horizontal e ponta-a-ponta, décimo primeiro fator motivador. A integração vertical consiste nas atividades de planejamento, controle e melhoria da qualidade, a integração horizontal refere-se nas atividades de diversos setores da empresa que cooperam dentro do processo de criação de valor e a integração de ponta-a-ponta engloba a as atividades inerentes às diversas fases do ciclo de vida do produto, principalmente na fase do uso. Essa integração permite um sistema de manufatura flexível, reconfigurável e auto-organizado que pode ser ajustado dinamicamente para se adaptar a diferentes tipos de produtos (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

Por fim, ressalte-se que as tecnologias também podem ser classificadas como fatores motivadores.

2.3.3 Barreiras

A seguir, são descritas algumas barreiras relacionadas à uma adequada implementação da Qualidade 4.0.

O elevado custo inicial para a implementação da Qualidade 4.0 é tido como uma primeira barreira.

Para que seja estimado o retorno financeiro que compense o investimento inicial no longo prazo, a Qualidade 4.0 deve prever os custos da redução das falhas internas e externas bem como do aumento da vantagem competitiva dos produtos/serviços disponibilizados no mercado pela empresa. Ou seja, é importante considerar não somente as metas financeiras, mas também as não-financeiras, como por exemplo a satisfação dos clientes, fidelidade, retenção, maior agilidade no atendimento às demandas, entre outras (ANTONY *et al.*, 2021).

Uma segunda barreira elencada por Antony *et al.* (2021) é a falta de disponibilidade de recursos físicos e humanos. A implementação da Qualidade 4.0 não somente exige recursos físicos como sistemas ciber-físicos e Internet das Coisas, mas também recursos humanos, como colaboradores capacitados com conhecimentos técnicos adequados para lidar com algoritmos inteligentes e Big Data.

A ausência de uma estrutura universalmente aceita para a implementação da Qualidade 4.0 é a terceira barreira considerável. A falta de uma padronização e de uma metodologia bem definida dificulta a adoção da Qualidade 4.0 pelas organizações (ANTONY *et al.*, 2021).

Nem todas as empresas possuem uma adequada cultura organizacional propícia para criar um ambiente que incentive os funcionários a assumirem responsabilidades, novos desafios e utilizar a criatividade para atingir as metas da qualidade. Assim, a falta de uma cultura organizacional adequada à Qualidade 4.0 é tida como quarta barreira (ANTONY *et al.*, 2021).

O estudo elaborado por Antony *et al.* (2021), mostrou que ainda não está claro qual é a vantagem competitiva que a organização terá ao implementar a Qualidade 4.0, sendo considerada como a quinta barreira. A natureza da relação entre a implementação da Qualidade 4.0 e a vantagem competitiva ainda carece de estudos.

Para Hassoun *et al.* (2022) as principais barreiras para a implementação da Qualidade 4.0 são a falta de tecnologias acessíveis adequadas ao ambiente industrial, o alto custo, a ausência de adaptabilidade da empresa e a carência de conhecimento técnico.

Segundo Carvalho e Lima (2022), as barreiras consistem em falta de uma compreensão clara dos líderes de como implementar os métodos da Qualidade 4.0, em sistema de gestão da qualidade desatualizado e inadequado para integrar a grande quantidade de dados produzidos em vários formatos e em diferentes estágios do ciclo de vida do produto.

Para Dror (2022), a preocupação com a segurança cibernética pode ser considerada como a sexta barreira e a fragmentação, integridade e qualidade dos dados a sétima.

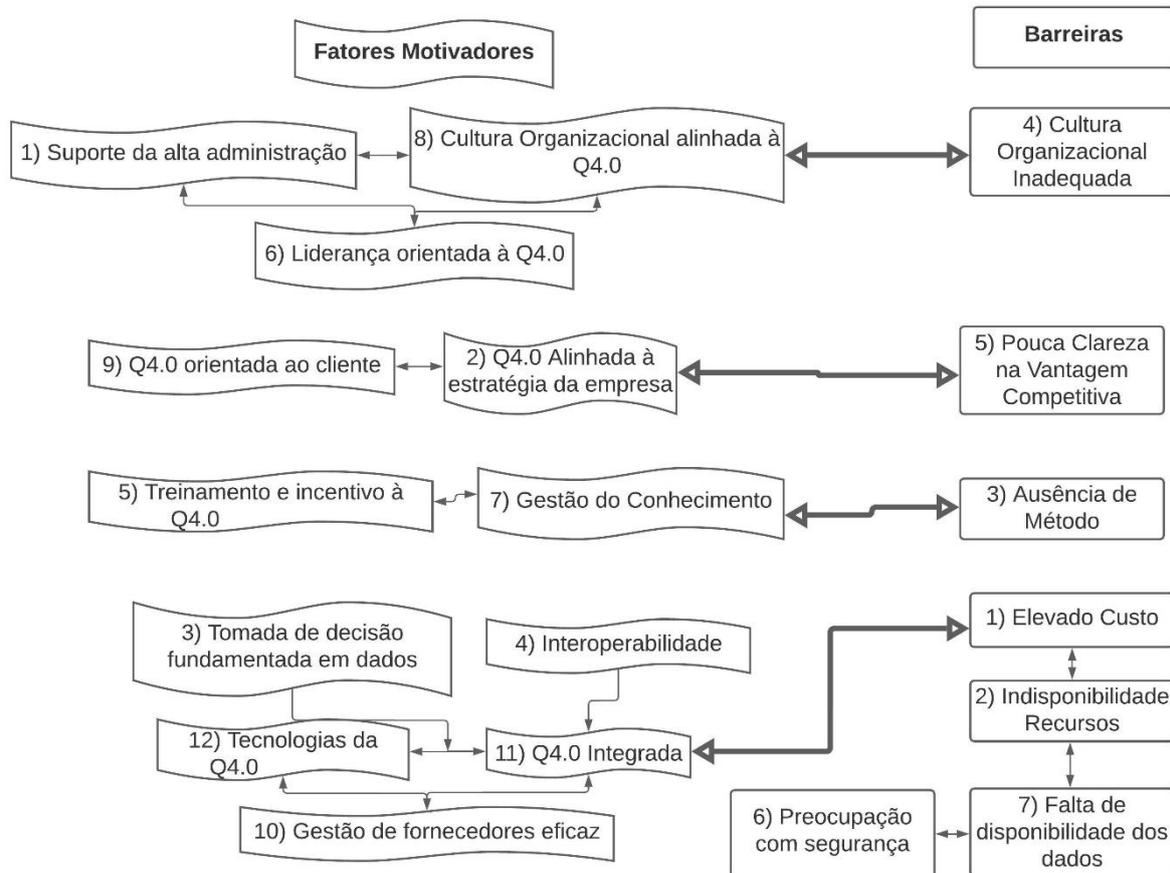
Considerando o exposto acima, os fatores motivadores e as barreiras são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Fatores motivadores e barreiras

Fatores motivadores	Barreiras
1) Suporte da alta administração para a Qualidade 4.0; 2) Alinhamento da Qualidade 4.0 à visão e estratégia da organização; 3) Tomada de decisão fundamentada em dados 4) Interoperabilidade 5) Treinamento e incentivo aos colaboradores na utilização das tecnologias da Qualidade 4.0; 6) Liderança Orientada à Qualidade 4.0; 7) Gestão do conhecimento da Qualidade 4.0; 8) Cultura organizacional orientada à Qualidade 4.0; 9) Alinhamento da Qualidade com as necessidades dos clientes; 10) Sistema de gestão de fornecedores eficaz; 11) Qualidade 4.0 na integração vertical, horizontal e ponta-aponta; 12) Tecnologias como RFID, Internet das Coisas, computação em nuvem, Big Data, Aprendizado de Máquina, Aprendizado Profundo, Inteligência Artificial, Ciência de dados, Blockchain, Manufatura aditiva e Realidade Aumentada.	-1) Elevado custo inicial para implementação da Qualidade 4.0; -2) Falta de disponibilidade de recursos físicos e humanos; 3) Ausência de uma estrutura universalmente aceita para a implementação da Qualidade 4.0; 4) Falta de uma cultura organizacional adequada à Qualidade 4.0; 5) Pouca clareza na vantagem competitiva que a organização terá ao implementar a Qualidade 4.0; 6) Preocupação com a segurança cibernética; 7) Fragmentação, integridade e qualidade dos dados;

A Figura 2 apresenta os fatores e barreiras acima descritos e suas interrelações.

Figura 2 – Fatores motivadores e barreiras da Qualidade 4.0



Fonte: O autor.

As relações da Figura 2, em uma análise mais ampla, conectam os fatores entre si com as barreiras, com o suporte da alta administração, com a cultura organizacional e com a liderança, sendo estes elementos orientados à Qualidade 4.0. Estas relações podem estabelecer um fluxo de interdependência, no qual se observa o impacto maior da barreira da cultura organizacional, que pode ser inadequada. Já a barreira relacionada à pouca clareza na vantagem competitiva pode ser superada com um modelo de Qualidade 4.0 orientado ao cliente e alinhado à estratégia da empresa.

Igualmente, um adequado treinamento e incentivo à Qualidade 4.0 juntamente com a gestão do conhecimento podem ser primordiais para minimizar a barreira da ausência de um método.

Do mesmo modo, pode-se relacionar a barreira do elevado custo com a indisponibilidade de recursos, tanto financeiros como tecnológicos e dados, os quais também podem gerar uma preocupação com a segurança das informações. Todavia, pode-se superar essas barreiras com uma adequada aplicação das tecnologias da Qualidade 4.0 integrada e

com interoperabilidade, visando a tomada de decisão fundamentada em dados e uma gestão de fornecedores eficaz.

A seguir, são apresentados modelos de maturidade da Qualidade 4.0.

2.4 MODELOS DE MATURIDADE

Os modelos de maturidade cada vez mais têm sido estudados por diversos pesquisadores de várias áreas de pesquisa com a finalidade de desenvolver modelos que possam avaliar os pontos fortes e fracos de um sistema e/ou processo e assim elaborar roteiros de melhoria para atingir determinados objetivos e gerar um sistema/processo com maior nível de maturidade (REIS; MATHIAS; OLIVEIRA, 2017).

Um modelo de maturidade pode ser definido como uma estrutura conceitual capaz de mensurar o estágio de desenvolvimento (maturidade) de uma determinada área de estudo de interesse. Por meio da determinação do cenário atual, os modelos de maturidade podem ser empregados como um instrumento de tomada de decisão e melhoria nos processos (MARTINHO; SANTOS, 2019; ÜNAL; SUNGUR; YILDIRIM, 2022).

Os modelos de maturidade podem ser utilizados para três objetivos principais: analisar os pontos fortes e fracos, desenvolver um roteiro de melhorias e avaliar a empresa em relação a padrões e melhores práticas de outras organizações. Apesar de ter diversas configurações, eles podem ser classificados em duas principais categorias: os modelos de maturidade de capacidade e a matriz de maturidade (REIS; MATHIAS; OLIVEIRA, 2017).

Pertencente à primeira categoria, o modelo de maturidade de capacidade (CMM), consiste em uma estrutura de cinco estágios de evolução, também denominados de níveis de capacidade ou maturidade de processo, o qual possui a descrição de um roteiro de melhorias para transformar um determinado processo imaturo em maduro. O CMM é caracterizado por sua arquitetura abrangente e complexa, no qual um nível de maturidade específico só poderá ser alcançado se as práticas e objetivos de todas as áreas de processos em um nível anterior forem atendidos (REIS; MATHIAS; OLIVEIRA, 2017).

Já a matriz de maturidade consiste em um arranjo por grade entre os níveis propostos, utilizando células para descrever as características esperadas para cada dimensão (AGUIAR; JUGEND, 2022).

A partir da análise bibliométrica realizada por Reis, Mathias e Oliveira (2017), foi observado que os novos modelos surgem a partir dos já desenvolvidos, servindo como guias ou exemplos a serem seguidos, que são então adaptados para atenderem à exigência de uma área, processo ou sistema específico.

Por meio da identificação das lacunas científicas dos modelos de maturidade, Reis, Mathias e Oliveira (2017), perceberam o foco na melhoria contínua, bem como de processos e sistemas, além de outras situações que podem necessitar para alcançar uma maturidade desejável. Uma das lacunas encontradas é a recomendação de aprimorar a estrutura de implementação contendo três componentes: plano de implementação do SPI, roteiro de implementação do SPI e seu modelo de implementação.

De acordo com Akdil, Cevikcan e Ustundag (2018), os modelos de maturidade são adequados para as empresas que planejam transformar seu modelo de negócios para a Indústria 4.0. Estes modelos permitem que as organizações avaliem seus processos, produtos e serviços e tomem decisões estratégicas mais assertivas.

Os modelos de maturidade possibilitam conectar os conhecimentos e processos organizacionais e operacionais existentes com novos conceitos, fornecendo uma sequência de estágios de maturidade indicando potenciais pontos de melhorias para futuras implementações de tecnologias, técnicas e métodos relacionados à Indústria 4.0. Os modelos de maturidade proporcionam a otimização da tomada de decisão operacional e de negócios por meio de uma visão holística do cenário de toda a organização (RÜBEL *et al.*, 2018).

Os modelos de maturidade estão cada vez mais sendo objeto de pesquisas acadêmicas (ELIBAL; OZCEYLAN, 2022). Segundo Gökalp e Martinez (2022), os modelos de maturidade são desenvolvidos para auxiliar as organizações, fornecendo orientações abrangentes e um roteiro para melhorias.

Já, mais especificamente, os modelos de maturidade da Qualidade 4.0 podem ser definidos como uma estrutura capaz de avaliar o grau de alinhamento entre a gestão da qualidade com as tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 (ARMANI *et al.*, 2021).

Considerando os conceitos dispostos acima e a experiência pessoal e empírica dos autores, como também o suporte prático do presente estudo, foi desenvolvido o seguinte conceito de Maturidade da Qualidade 4.0: A Maturidade da Qualidade 4.0 pode ser definida como o nível de consistência tática, operacional e estratégica das ações e tecnologias relacionadas à Qualidade 4.0 (MARTINHO; SANTOS, 2019; AKDIL; CEVIKCAN; USTUNDAG, 2018; RÜBEL *et al.*, 2018; ARMANI *et al.*, 2021; WAGIRE *et al.*, 2021).

2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SUPORTE TEÓRICO

Neste capítulo, foram apresentadas as diversas tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, big data, computação em nuvem inteligência artificial, manufatura aditiva, entre outras. Também foi exposto que a Indústria

4.0 não pode ser delimitada apenas pelo uso dessas tecnologias, mas definida como um novo modelo de negócios capaz de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado.

Além disso, foi apresentado o conceito da Qualidade 4.0, a qual pode ser definida como a combinação das novas tecnologias da Indústria 4.0 com os métodos tradicionais de gestão da qualidade como Controle da Qualidade, Garantia da Qualidade e Gestão Total da Qualidade. Com isso, a Gestão da Qualidade pode ser capaz de acompanhar em tempo real as diversas alterações do mercado como as causadas pela pandemia de Covid-19 e pelo conflito bélico entre Rússia e Ucrânia e fornecer produtos de alta qualidade de forma consistente aos consumidores.

Igualmente, foram explicitadas as características da Qualidade 4.0 como os fatores de prontidão, as tecnologias, os fatores agregadores de valor, os ambientes de atuação, os fatores-chave, fatores de motivação e barreiras.

Outro conceito apresentado foi o modelo de avaliação de maturidade. Este pode ser definido como uma estrutura conceitual apropriada para avaliar o estágio de desenvolvimento de uma determinada área, no caso da Qualidade 4.0, objetivando realizar melhorias nos processos e otimizar a tomada de decisão. Em vista disso, os modelos de maturidade da Qualidade 4.0 permitem aferir o nível de consistência tática, operacional e estratégica entre a gestão da qualidade da empresa com os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0.

Para esse estudo, os conceitos provenientes da bibliografia foram utilizados como referência para a elaboração de novos conceitos adaptados considerando o escopo dessa dissertação. O Quadro 3 apresenta as definições propostas para os principais termos utilizados nesta pesquisa. Estes conceitos foram criados com base em adaptações das referências bibliográficas e na experiência pessoal e empírica do autor, além do suporte prático do estudo.

Quadro 3 – Definições propostas para os termos utilizados

Termo	Conceito	Referências
Indústria 4.0	A Indústria 4.0 consiste em um novo modelo de negócios no qual as empresas utilizam tecnologias como sistemas ciber-físicos, internet das coisas, big data, computação em nuvem, inteligência artificial, blockchain, realidade aumentada, simulação virtual, automação das máquinas e manufatura aditiva com a finalidade de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado.	(PALADINI, 2019; GURSEV; OZTEMEL, 2020; ZHENG <i>et al.</i> , 2021; HUGHES <i>et al.</i> , 2022; NIMAWAT; GIDWANI, 2022).
Qualidade 4.0	A Qualidade 4.0 consiste na utilização de uma ou mais tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas tradicionais da qualidade com a finalidade de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado.	(PALADINI, 2019; ANTONY, DOUGLAS, SONY, 2020; KUMAR, REVANTH, SAHITHI, 2020; JACOB, 2017; MAGANGA, TAIFA, 2022; CHRISTOU <i>et al.</i> , 2022).
Fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0	Os fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0 podem ser definidos como sendo os aspectos mais relevantes que contribuem para se obter um maior nível de maturidade da Qualidade 4.0.	(ANANTATMULA; RAD, 2018; HUSSAIN; KHAN, 2020; SCHUMACHER, Andreas; NEMETH; SIHN, 2019)
Maturidade da Qualidade 4.0	A Maturidade da Qualidade 4.0 pode ser definida como o nível de consistência tática, operacional e estratégica das ações e tecnologias relacionadas à Qualidade 4.0.	MARTINHO; SANTOS, 2019; AKDIL; CEVIKCAN; USTUNDAG, 2018; RÜBEL <i>et al.</i> , 2018; ARMANI <i>et al.</i> , 2021; WAGIRE <i>et al.</i> , 2021).

Fonte: Elaborado pelo autor.

No próximo capítulo, é apresentado o método de pesquisa.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A seguir, é apresentado o método de pesquisa utilizado no presente trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO CIENTÍFICA DO ESTUDO

O presente trabalho pode ser caracterizado, segundo Cauchick *et al.* (2010), como sendo um estudo de caso fundamentado em uma pesquisa qualitativa teórico-conceitual. O estudo de caso deve estar vinculado à literatura de modo a proporcionar um caminho para a contribuição investigativa, explorando empiricamente um dado fenômeno contemporâneo considerando o real contexto de inserção desse fenômeno.

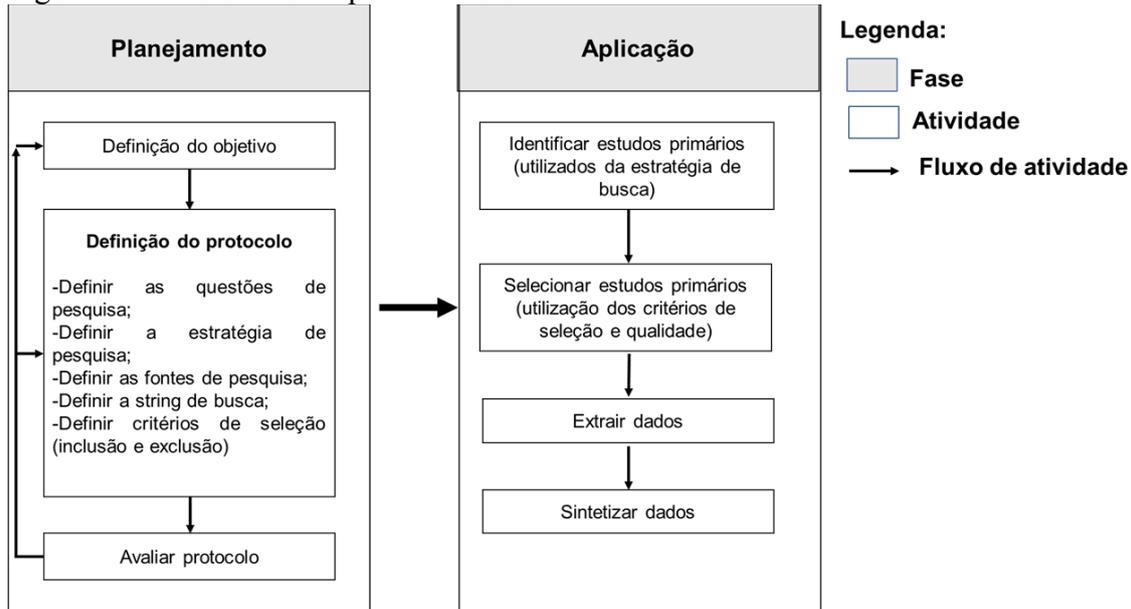
Ainda conforme Cauchick *et al.* (2010), no estudo de caso o pesquisador apresenta baixo nível de envolvimento com os indivíduos e com a organização estudada, de modo que as interações são realizadas em observações, entrevistas e questionários. Para esse estudo, as interações com as empresas e especialistas são realizadas por meio de questionários virtuais com variáveis qualitativas do tipo ordinal na plataforma *google forms*.

De acordo com a classificação de Voss *et al.* (2002), esse trabalho possui como natureza investigativa a extensão e o refinamento da teoria, no qual os casos são utilizados para estruturar melhor as teorias já existentes descritas na literatura. Ou seja, com base em alguns modelos de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 existentes na bibliografia, busca-se refiná-los e ajustá-los considerando o atual contexto brasileiro das empresas estudadas.

3.2 MÉTODO APLICADO AO SUPORTE TEÓRICO

O método aplicado foi baseado na seleção de artigos por meio de um mapeamento sistemático da bibliografia com base no método proposta por Nakagawa *et al.* (2017). A Figura 3 representa a estrutura com o mapeamento sistemático da bibliografia utilizado neste estudo.

Figura 3 - Estrutura do mapeamento sistemático



Fonte: Adaptado de Nakagawa, *et al.* (2017)

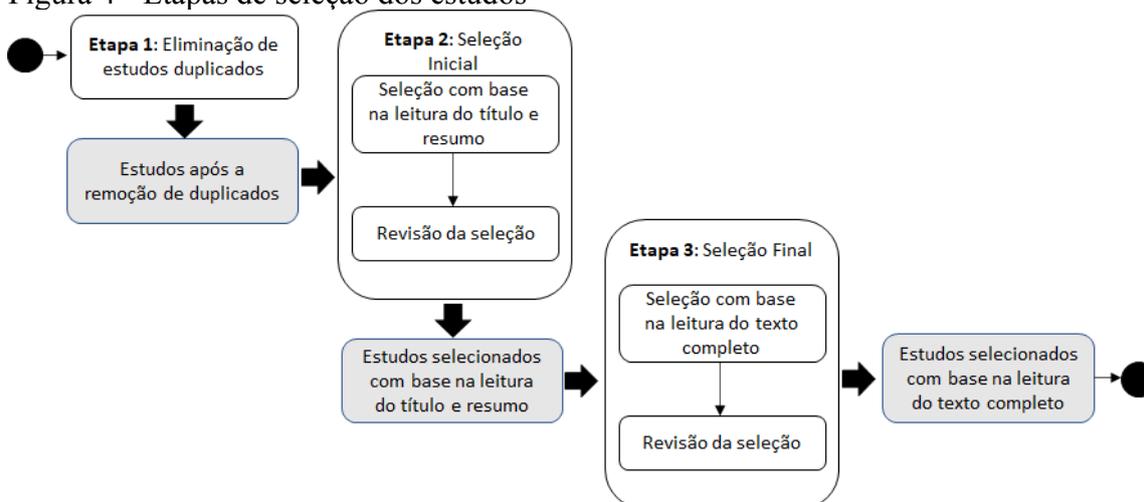
No planejamento deste mapeamento sistemático, inicialmente foi definido como objetivo identificar artigos científicos que abordam o tema relacionado à avaliação do nível de maturidade da qualidade 4.0. Em seguida, foi estabelecida a seguinte questão de pesquisa, conforme listada no item 1.3: “Quais são os fatores-chave e melhorias necessárias para que as empresas de manufatura brasileiras possam aumentar seu nível de Maturidade da Qualidade 4.0?”

Já o direcionamento da busca dos artigos foi definido como sendo as bases de dados Scopus e Web of Science. Com as palavras *Maturity*, *Quality* e *Industry 4.0* pesquisadas, conforme string: (TITLE-ABS-KEY (maturity AND quality)) AND (industry 4.0) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017)) obteve-se 130 artigos publicados no período de 2017 a 2021, destes 95 na plataforma Scopus e 35 na Web of Science. É importante ressaltar que os termos

"Qualidade", "Maturidade" e "Indústria 4.0", que compõem a string de busca também fazem parte do suporte teórico.

Já a fase de aplicação, consistiu em identificar e selecionar os estudos bem como extrair e sintetizar os dados. A Figura 4 apresenta as etapas para a seleção dos estudos.

Figura 4 - Etapas de seleção dos estudos



Fonte: Adaptado de Nakagawa, *et al.* (2017)

Na etapa 1 foi realizada a exclusão de 20 artigos duplicados, restando 110 estudos. Já na etapa 2, foi executada a seleção com base na leitura do título e do resumo, na qual 15 artigos foram selecionados de acordo com os critérios estabelecidos. E, por fim, na etapa 3 foram selecionados 8 artigos com base na leitura integral dos estudos. A escolha dos artigos em questão é justificada por apresentarem modelos de avaliação da maturidade com a temática de Indústria 4.0 e/ou Qualidade 4.0. A análise do conteúdo dos artigos foi realizada com base na identificação dos modelos de maturidade utilizados pelos autores para avaliar a qualidade 4.0 bem como as principais dimensões, tecnologias e fatores-chave de sucesso.

3.3 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

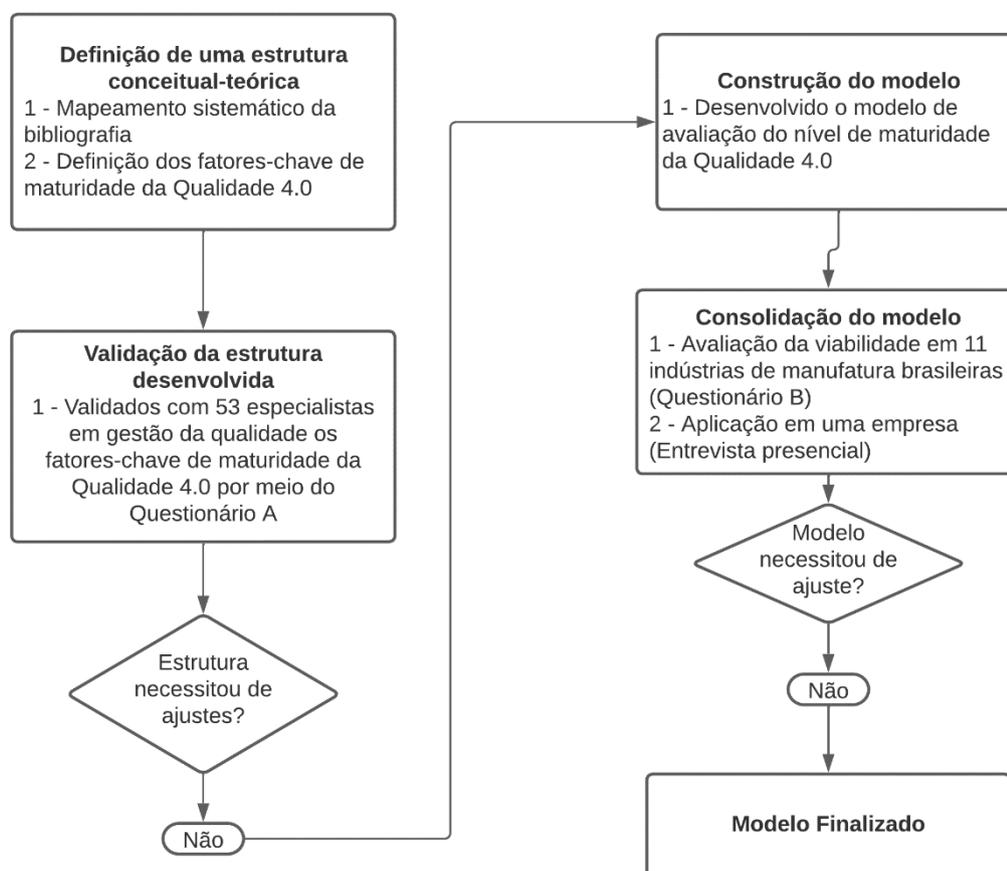
A seguir, são apresentadas as etapas de desenvolvimento do trabalho.

Após a avaliação dos artigos do mapeamento bibliográfico com foco no modelo do nível de maturidade da Qualidade 4.0 e com base na literatura e no suporte prático foram definidos os fatores-chave da maturidade da Qualidade 4.0. Para validar e verificar o nível de importância dos fatores-chave no contexto brasileiro, foi elaborado o questionário A (Apêndice A) que foi respondido por 53 especialistas em gestão da qualidade com experiência em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade.

Com base na validação e melhorias pelos especialistas, foi elaborado o Modelo de Avaliação do Nível de Maturidade na Qualidade 4.0. Para consolidar o Modelo proposto foi elaborado o questionário B (Apêndice B) que foi respondido por 11 empresas de manufatura brasileiras para avaliarem a viabilidade das melhorias do Modelo proposto. Além disso, foi realizado um estudo de caso em uma empresa catarinense de manufatura de equipamentos elétricos para também consolidar o Modelo proposto, bem como sua aplicação com o objetivo de avaliar o nível de maturidade da Qualidade 4.0.

A Figura 5 apresenta uma visão geral das etapas do desenvolvimento do estudo.

Figura 5 – Etapas de desenvolvimento



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir é apresentada a coleta e análise das informações.

3.4 COLETA DE INFORMAÇÕES

Para a realização da coleta de informações foi utilizado o questionário A e B e uma empresa de manufatura brasileira.

O questionário A foi enviado para o grupo de e-mail do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, composto por professores e estudantes do curso. Além disso, por meio da rede social LinkedIn, foram enviadas mensagens com o questionário para 208 especialistas em gestão da qualidade. O critério de escolha do envio foi feito com base na descrição dos cargos ocupados, como Analistas da Qualidade, Gestores da Qualidade, Coordenadores da Qualidade, Engenheiros da Qualidade, Inspectores de Qualidade, Docentes em Gestão da Qualidade, entre outros. Também ainda pela rede social LinkedIn, o questionário foi postado nos grupos de Gestores de Sistema de Gestão da Qualidade, Sociedade Brasileira da Qualidade e Excelência na Gestão – SBQEG, Gestão e Controle da Qualidade, ISO 9001:2015 Sistema de Gestão da Qualidade e Gestão pela Qualidade Total).

Do questionário A, obteve-se 57 respostas. Destas, foram consideradas 53 respostas, devido ao critério de resposta positiva à pergunta “Você possui conhecimentos em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade?”.

Já para o Questionário B (Apêndice B), este foi enviado a 165 profissionais que atuam na gestão da qualidade em indústrias de manufatura brasileira, por meio da rede social corporativa LinkedIn, no qual obteve-se ao todo 18 respostas. Porém, foram consideradas 11 respostas com o critério dos respondentes estarem trabalhando no momento da pesquisa em indústrias de manufatura.

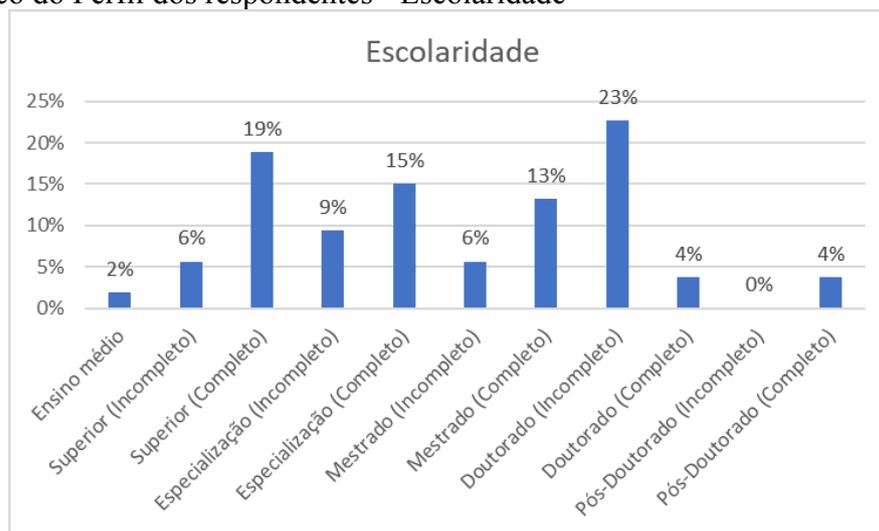
A empresa brasileira para o estudo de caso é caracterizada como uma empresa de manufatura do setor elétrico catarinense que atua no mercado hidrelétrico há mais de 35 anos desenvolvendo soluções para o controle de geração de energia. Foram realizadas 2 entrevistas presenciais com a gerente em processos e sistemas atuante há mais de 20 anos na empresa de manufatura catarinense de equipamentos elétricos, que possui mais de 200 funcionários. Nestas entrevistas, os fatores-chave, tecnologias e a priorização das melhorias foram analisadas, bem como foi aplicado o questionário de diagnóstico do atual nível de maturidade da Qualidade 4.0 na empresa, Aba 1 da Planilha em Excel do Apêndice C.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Dos 53 especialistas respondentes do questionário A, 92% possuem no mínimo nível superior. 23% possuem doutorado incompleto, 19% superior completo, 15% especialização completa e 13% mestrado completo.

A Figura 6 mostra o gráfico do perfil dos respondentes, referente ao critério escolaridade.

Figura 6 – Gráfico do Perfil dos respondentes - Escolaridade

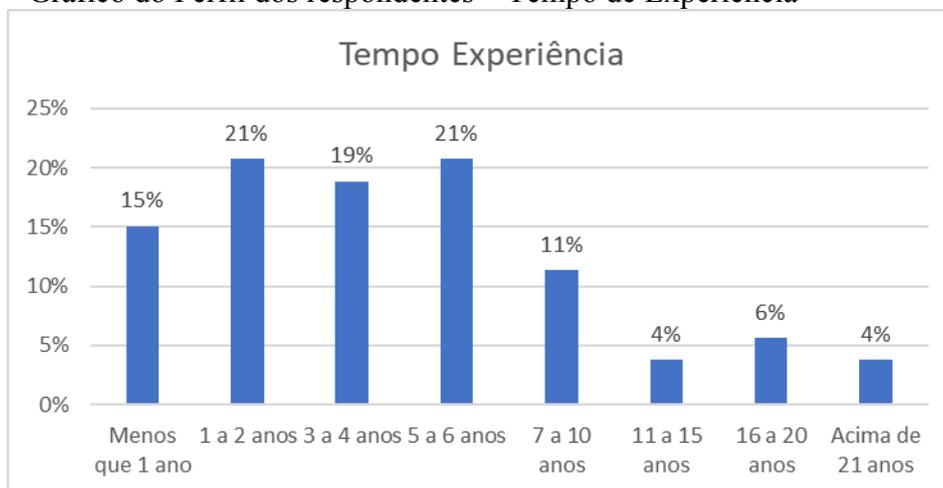


Fonte: O autor.

Dos 53 especialistas respondentes, 64% possuem no mínimo 3 ou mais anos de experiência em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade. 21% possuem 5 a 6 anos de experiência, 11% 7 a 10 anos, 13% acima de 11 anos.

A Figura 7 mostra o gráfico do perfil dos respondentes, referente ao critério tempo de experiência.

Figura 7 - Gráfico do Perfil dos respondentes – Tempo de Experiência

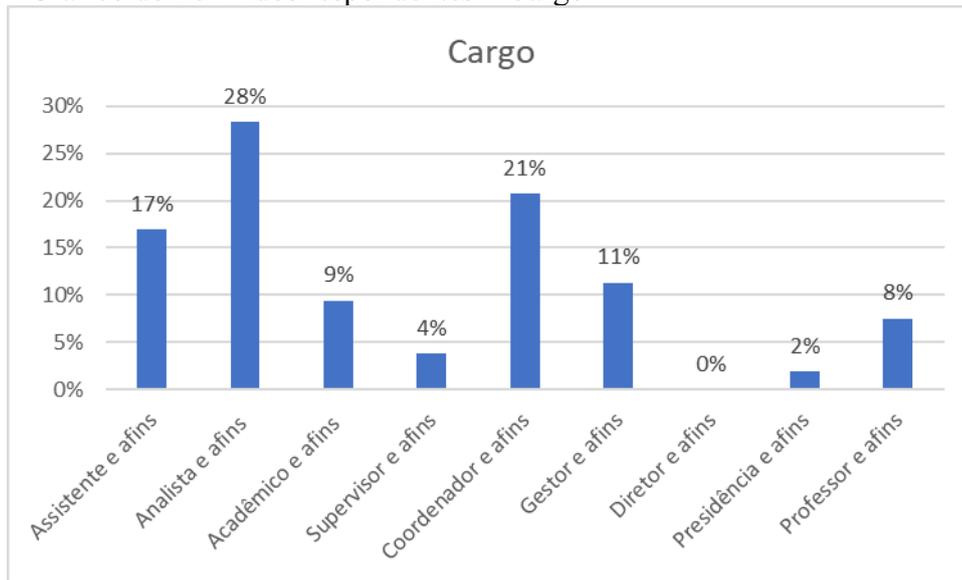


Fonte: O Autor

Dos 53 respondentes, 28% possuem o cargo de Analista e afins, 21% Coordenador e afins, 11% Gestor e afins e 8% Professor e afins.

A Figura 8 mostra o gráfico do perfil dos respondentes, referente ao critério cargo.

Figura 8 - Gráfico do Perfil dos respondentes – Cargo



Fonte: O Autor

Posteriormente, foi aplicada a abordagem quantitativa mais adequada para escalas ordinais, a mediana conforme Mattar (2000). Essa medida determina o nível de importância dos fatores-chave no contexto brasileiro com base nas respostas do questionário A.

Já para o questionário B (Apêndice B) de 18 respostas obtidas foram selecionadas 11 respostas com o critério dos respondentes estarem trabalhando no momento da pesquisa em indústrias de manufatura. O Quadro 4 apresenta o setor e a quantidade de indústrias respondentes.

Quadro 4 – Número de indústrias por setor

Setor	Indústrias
Metalmecânico	4
Alimentos	2
Automotivo	2
Equipamentos Eletrônicos	1
Têxtil	1
Alimentos	1
Total	11

Fonte: O Autor.

O Questionário B teve como finalidade avaliar a viabilidade do modelo de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 desenvolvido, com os critérios de custo x benefício, recursos humanos, tecnológicos e financeiros e tipo de produto fabricado. O critério de viabilidade escolhido das respostas foi de, entre 7 e 10, alta viabilidade, 5 a 6,9 média viabilidade e abaixo de 4,9 baixa inviabilidade.

E, por fim, o modelo proposto foi aplicado e respondido pela gerente em processos e sistemas atuante há mais de 20 anos na empresa de manufatura catarinense de equipamentos elétricos, por meio de uma entrevista presencial, para avaliar o nível de maturidade da Qualidade 4.0.

3.6 SUPORTE PRÁTICO

O desenvolvimento dessa dissertação foi fundamentado tanto na experiência prática do autor quanto em artigos técnicos da área, principalmente aqueles centrados em estudos de caso.

Foram utilizados conhecimentos de disciplinas cursadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, como Gestão da Qualidade: Teoria e Prática, Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção, Avaliação de Desempenho, Avaliação Estratégica da Qualidade, Desenvolvimento de Produtos I e Inovação em Produtos, Serviços e Processos.

Foi utilizada a aprendizagem obtida por disciplinas cursadas no MBA Gestão e Liderança da Sustentare Escola de Negócios, como Melhoria Focada e Plano de Projetos (MF), Mapeamento de Processos de Negócios, Gestão do Conhecimento, Tomada de Decisão, Solução de Problemas, Estratégia Empresarial, Tempo, Execução e Produtividade, entre outras.

Utilizou-se o conhecimento adquirido pela escrita de projetos de inovação do programa Inova Talentos – IEL/FIESC para diversas indústrias catarinenses nas temáticas de Indústria 4.0, Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina etc.

O suporte prático está fundamentado nas contribuições que o autor recebeu ao longo do desenvolvimento do estudo; pelo respaldo de 64 profissionais com experiência em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade, que utilizaram os questionários que estão nos apêndices A e B para fixarem suas posições e pelos profissionais da empresa estudada, por meio de entrevista presencial.

4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E MODELO PROPOSTO

Neste capítulo são apresentadas as principais contribuições desta dissertação, composta pela análise dos modelos das referências bibliográficas, as lacunas observadas, a proposição de fatores-chave, o nível de importância destes fatores, a autoavaliação, a proposição de melhorias, a proposição de um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0, o roteiro de implementação, o estudo de caso e a viabilidade das melhorias. Cabe destacar que o modelo desenvolvido foi fundamentado em fatores-chaves e dimensões, definidos e categorizados de acordo com a análise das referências originárias do suporte teórico e prático deste estudo.

4.1 ANÁLISE DOS MODELOS DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0 DESCRITOS NA LITERATURA

A seguir, é apresentada a análise crítica das referências bibliográficas, de forma a permitir uma avaliação detalhada dos modelos de avaliação da maturidade. Assim, neste item são discutidos novos elementos que irão compor a estruturação do modelo desenvolvido, com base nas informações analisadas no suporte teórico, no suporte prático e na experiência prática do autor.

O modelo proposto por Dutta *et al.* (2021) avalia o nível de maturidade da qualidade em pequenas e médias empresas. Essa avaliação é baseada no grau de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 para a análise de dados. O primeiro nível representa situações tradicionais, onde a análise de dados é feita manualmente em papel. No segundo nível, as empresas analisam dados em planilhas, fornecendo informações básicas para tomada de decisão. No terceiro nível de maturidade, os dados são tratados automaticamente por softwares, como tecnologias baseadas em rastreamento por radiofrequência, para apoiar a tomada de decisão nos processos de qualidade em todos os estágios de melhoria contínua. No quarto nível, os sistemas de qualidade são integrados aos sistemas de negócios, como gerenciamento do ciclo de vida do produto e sistema integrado de gestão empresarial. Neste nível, a manipulação de dados é automatizada e as informações são interoperáveis entre os sistemas. Por fim, o quinto nível consiste em todos os recursos do quarto nível integrados, com suporte de dados de manufatura em circuito fechado e gestão da qualidade de circuito fechado. Empresas que atingem esse nível de maturidade são capazes de implementar o conceito de gêmeos digitais, que une o produto físico com sua versão virtual simulada.

Stawiarska *et al.* (2021) sugeriram um modelo com critérios para avaliar o grau de maturidade de empresas automotivas na implementação de sistemas de gestão da qualidade na Indústria 4.0, dividido em cinco níveis.

O primeiro nível é caracterizado pela empresa por apresentar uma abordagem inconsistente e informal da gestão da qualidade. Nele, os processos são imprevisíveis, mal controlados e as atividades não estão claramente descritas e documentadas. Já o nível 2 é definido como uma abordagem reativa, na qual os problemas são solucionados à medida que surgem. Da mesma forma, o nível 3 consiste em uma abordagem formal e bem estabelecida na qual a empresa realiza a gestão da qualidade por meio da abordagem de processo. Neste nível, ocorre alta repetição das atividades realizadas e os processos são bem compreendidos e descritos. No nível 4, a empresa possui o foco na melhoria contínua, onde os processos são mensurados e analisados de modo abrangente, incluindo as atividades de toda a organização. Neste nível, o sistema de gestão da qualidade é capaz de prever tendências na qualidade do processo e do produto. E, por fim, a empresa que possui o nível 5 de maturidade é capaz de gerenciar os processos continuamente e demandar esforços para melhorá-los continuamente. As melhores práticas e inovações são identificadas, descritas e comunicadas para toda a empresa, com envolvimento significativo dos funcionários na melhoria dos processos, suportada por uma cultura organizacional direcionada para apoiar o sistema de gestão da qualidade.

Já Kenett e Zonnenshain (2020) abordaram um modelo de maturidade da qualidade 4.0 também divididos em 5 níveis para empresas de manufatura. O nível 1 compreende relatórios aleatórios com prazos curtos e sem planejamento. No nível 2 há o enfoque na estatística descritiva, com a qualidade orientada à inspeção. Já o nível 3 consiste na visão do processo, utilizando a modelagem da variabilidade com distribuições estatísticas. Ademais, no nível 4 a empresa prioriza a qualidade desde o projeto, monitorando os processos de forma avançada, com manutenção otimizada e tomada de decisão baseada em dados. E por fim, o nível 5 de maturidade possui uma visão holística da ciência de dados, com aprendizagem contínua. Neste nível, a empresa utiliza as tecnologias de Big Data, Internet das Coisas, Mídias Sociais, rastreadores, entre outros.

Além disso, Glogovac, Maricic e Ruso (2020) desenvolveram uma pesquisa com o objetivo de verificar a possibilidade de utilizar o modelo da ISO 9004:2018 para avaliar o nível de maturidade da Qualidade 4.0. Os autores adaptaram o modelo proposto pela norma por meio da inclusão do contexto da Indústria 4.0 nos 5 níveis de maturidade. No primeiro nível os processos são controlados inadequadamente ou não controlados no contexto da

Indústria 4.0. Já no segundo nível, os processos relevantes são parcialmente controlados em relação à Indústria 4.0. No terceiro nível, todos os processos são identificados e monitorados no contexto da Indústria 4.0. Já no quarto nível, os processos são totalmente planejados e implementados com as melhores práticas da Indústria 4.0. E, por fim, no último nível os processos são gerenciados de forma dinâmica e inovadora, de modo a alcançar melhorias continuamente.

Com base nisso, Glogovac, Maricic e Ruso (2020) elaboraram e aplicaram um questionário contendo perguntas fechadas em 335 empresas (42,1% empresas de manufatura, 38,5% empresas de serviços e 19,4% empresas de manufatura e serviços). Por meio de uma análise estatística, os autores confirmaram que o modelo pode ser utilizado para avaliar o nível da Qualidade 4.0 nas organizações estudadas de manufatura e/ou serviços bem como para desenvolver um roteiro de sistema da Qualidade 4.0 sustentável.

O estudo elaborado por Sutoova, Soos e Koka (2020), abordou 5 níveis de maturidade para indústrias de manufatura automotiva, sendo que o primeiro se refere à ausência de atributos de suporte à estratégia da Indústria 4.0 (I4.0) e o último possui todos os atributos. Estes níveis de maturidade e dimensões podem ser avaliados com base nas 11 tecnologias da Qualidade 4.0 propostas por Radziwill, (2018): tecnologias de detecção como códigos QR, sensores e Internet das Coisas, computação em nuvem, Big Data, Aprendizado de Máquina, Aprendizado Profundo, Inteligência Artificial, Ciência de dados, Blockchain, Manufatura aditiva e Realidade Aumentada.

Pode-se avaliar o nível de maturidade nas dimensões de projeto e engenharia, na gestão da produção, na gestão da qualidade, na gestão da manutenção e na gestão logística. Esta avaliação possui 5 níveis de maturidade, sendo que o primeiro nível o processo é mal controlado com gestão do processo reativa e o último nível o processo possui uma sólida infraestrutura de tecnologia e elevado potencial de crescimento, orientado à digitalização (CAROLIS *et al.*, 2017).

Além disso, para avaliar a maturidade da gestão da qualidade, as dimensões podem ser categorizadas em: satisfação do cliente, gestão de processos, alinhamento estratégico, medição e controle, melhoria contínua, parcerias, gestão da informação, cultura organizacional, custos da qualidade (MAKHANYA; NEL; PRETORIUS, 2018). Também outras dimensões podem ser consideradas, tais como, como a gestão de informações para controle da qualidade, gestão de documentos, gestão de dados e gestão de máquinas e equipamentos (MITTAL *et al.*, 2018).

Ainda no estudo desenvolvido por Negron (2020), foi utilizado com sucesso o modelo de Crosby (1996) para avaliar a maturidade da qualidade na Indústria 4.0 em cinco níveis: incerteza, despertar, iluminação, sabedoria e certeza. E as seguintes dimensões foram consideradas: dimensões de compreensão e atitude da gestão, organização da qualidade, tratamento de problemas, custos da qualidade como porcentagem das vendas, ações de melhoria da qualidade e cultura organizacional. Além disso, a certificação ISO 9001: 2015 não garante a obtenção de benefícios se as empresas não estiverem em níveis de maturidade acima do nível 3.

Os níveis de maturidade apresentados a seguir foram extraídos da categorização proposta pelos seguintes autores: DUTTA *et al.*, 2020; STAWIARSKA *et al.*, 2021; KENETT; ZONNENSHAIN, 2020; SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020; CAROLIS *et al.*, 2017; CROSBY, 1996; NEGRON, 2020; GLOGOVAC, MARICIC E RUSO, 2020.

O Quadro 5 apresenta estes modelos de forma resumida.

Quadro 5 - Modelos de Maturidade descritos nas referências bibliográficas

	DUTTA <i>et al.</i> , 2020	STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021	KENETT; ZONNENSHAIN, 2020	SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020.	CAROLIS <i>et al.</i> , 2017	CROSBY, 1996; NEGRON, 2020.	GLOGOVAC, MARICIC E RUSO, 2020.
Nível 1	Baseado em papel: a empresa não utiliza as tecnologias da I4.0 na gestão da qualidade.	Nenhuma abordagem formal: Abordagem inconsistente da gestão da qualidade e os processos são imprevisíveis, informais e mal controlados.	Combate a incêndios: relatórios aleatórios com prazo curto para serem realizados.	Ausência de atributos de suporte à estratégia da qualidade 4.0.	O processo é mal controlado ou não é controlado de todo, a gestão do processo é reativa e não possui as "ferramentas" organizacionais e tecnológicas adequadas para a construção de uma infraestrutura que permita a repetibilidade / usabilidade / extensibilidade das soluções utilizadas.	Incerteza - Descompromisso com a qualidade.	Informal: processos são controlados inadequadamente ou não controlados no contexto da Indústria 4.0.
Nível 2	Baseado em planilhas: a gestão da qualidade é fundamentada em planilhas.	Abordagem reativa: resposta aos problemas à medida que forem surgindo.	Inspeção: A qualidade possui foco na análise descritiva por meio da análise simplificada de histogramas, gráficos e dados.	Iniciante digital: a empresa possui algumas tecnologias da qualidade 4.0, porém de forma pontual, sem integração.	O processo é parcialmente planejado e executado. As escolhas são orientadas por objetivos específicos de projetos únicos de integração e / ou pela experiência do planejador, o que demonstra um amadurecimento parcial.	Despertar - Reconhece a importância da qualidade, mas não há esforços significativos para melhorá-la.	Determinado: processos relevantes são parcialmente controlados em relação à Indústria 4.0.
Nível 3	A empresa utiliza softwares automatizadores da I4.0 para elaboração de produtos customizados.	Abordagem de sistemas formais e estáveis: os processos são bem compreendidos e descritos.	Visão do processo: a qualidade é realizada por meio de uma modelagem de variabilidade com distribuições estatísticas.	Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção.	O processo é definido a partir do planejamento e implantação de boas práticas e procedimentos de gestão. Apresenta algumas lacunas na integração e interoperabilidade nas aplicações e na troca de informações.	Iluminação - compromisso formal de se realizar um programa de melhoria da qualidade.	Gerenciado: todos os processos são determinados e monitorados em relação à Indústria 4.0.
Nível 4	Sistemas de qualidade são integrados com sistemas de negócios com uso das tecnologias digitalizadoras da I4.0.	Foco na melhoria contínua: a organização mensura e analisa de forma abrangente os processos.	Qualidade desde o projeto: Monitora os processos de forma avançada, com manutenção otimizada e tomada de decisão baseada em dados.	Integração horizontal: as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.	O processo possui integração e interoperabilidade na troca de informações, além de ser totalmente planejado e implementado.	Sabedoria - existe um engajamento pessoal nos processos e melhoria da qualidade.	Eficaz e eficiente: os processos são totalmente planejados e implementados de acordo com as melhores práticas da Indústria 4.0.
Nível 5	Sistemas integrados de negócios, suporte de dados de Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da I4.0.	Busca contínua por melhores práticas e inovação com envolvimento significativo dos funcionários na melhoria dos processos bem como a cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0.	Aprendizado contínuo por meio de uma visão holística da ciência de dados.	Empresa digitalizada e integrada.	O processo é orientado digitalmente com uma sólida infraestrutura de tecnologia. A empresa possui elevado potencial de crescimento, com alto nível de integração, interoperabilidade, velocidade, robustez e segurança na troca de informação.	Certeza - a qualidade está bem estruturada e está aderida à cultura organizacional, incluído a alta gerência.	Inovação e melhoria contínua: os processos são gerenciados de forma dinâmica e inovadora, de modo a alcançar melhorias continuamente.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os autores Stawiarska *et al.*, (2021); Carolis *et al.*, (2017); Crosby, (1996); Negron, (2020), Glogovac, Maricic e Ruso, (2020) convergem ao relacionar o primeiro nível com processos mal controlados e sem abordagem formal. Já Kenett e Zonnenshain, (2020) divergem dos demais ao abordarem uma possível consequência dos processos mal controlados ao relacionar o nível 1 ao combate a incêndios com relatórios aleatórios e prazo curto para serem cumpridos. Para Sutoova, Soos e Koca, (2020) e Dutta *et al.*, (2020) o primeiro nível compreende a ausência das tecnologias da indústria 4.0 no sistema de qualidade, independentemente do grau de organização dos processos. Ou seja, os autores não consideram que estes processos possam ser bem estruturados e ter uma abordagem formal bem definida, mesmo sem ter as tecnologias da Qualidade 4.0.

Com base nisso, pode-se concluir:

- O elemento mais importante deste primeiro nível consiste nas empresas não utilizarem uma abordagem formal e consistente suportada pelas tecnologias da Indústria 4.0 nos processos da gestão da qualidade.

No nível 2, os autores DUTTA *et al.*, (2020) e Kenett, Zonnenshain, (2020) apresentam abordagens convergentes ao relacionarem que a gestão da qualidade é realizada por meio da utilização de planilhas eletrônicas com uma análise simplificada de histogramas e gráficos.

Já Sutoova, Soos e Koca, (2020) e Glogovac, Maricic e Ruso (2020) convergem ao caracterizarem que no nível 2 a empresa apresenta algumas tecnologias da Qualidade 4.0, porém de forma parcial e não integrada. Similarmente, Carolis *et al.*, (2017) dispõem que os processos são parcialmente planejados e executados, com um amadurecimento parcial. Cabe também destacar que Stawiarska *et al.*, (2021), diferentemente dos demais autores, relacionam o segundo nível à uma abordagem reativa, na qual os problemas são resolvidos na medida que estes aparecem. Além disso, para Negron, (2020), no nível 2 a empresa reconhece a importância da qualidade, mas não existem ações concretas para melhorá-la.

Portanto, a partir disso, pode-se inferir que:

- O elemento mais importante deste segundo nível se refere às empresas disporem de algumas tecnologias da Qualidade 4.0, porém de forma parcial e não integrada, apresentando sinais de amadurecimento parcial.

No nível 3, os autores Dutta *et al.*, (2020); Kenett e Zonnenshain, (2020); Sutoova, Soos e Koca, (2020); Glogovac, Maricic e Ruso (2020) convergem ao relacionarem o

emprego de tecnologias da Indústria 4.0 para monitorar, controlar e modelar processos de gestão da qualidade. Além disso, Stawiarska *et al.*, (2021); Carolis *et al.*, (2017) e Negron, (2020) já relacionam o terceiro nível com um maior planejamento, descrição, formalização e compreensão dos processos da gestão da qualidade, sendo que para Sutoova, Soos e Koca, (2020) já existe uma integração vertical das tecnologias da Qualidade 4.0 neste nível. É importante destacar também que para Dutta *et al.*, 2020 as empresas já utilizam softwares automatizadores da I4.0 para fabricarem produtos customizados no terceiro nível, porém com algumas lacunas na interoperabilidade e integração, conforme, Carolis *et al.*, (2017).

Com base nisso, pode-se concluir que:

- O elemento mais importante do nível 3 é uma maior integração, gerenciamento, formalização e utilização das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos da gestão da qualidade.

No nível 4, os autores Dutta *et al.*, (2020); Stawiarska *et al.*, (2021); Kenett e Zonnenshain, (2020); Sutoova, Soos e Koca, (2020) e Carolis *et al.*, (2017) convergem ao abordarem que as empresas apresentam os processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização. Além disso, é importante salientar que para Carolis *et al.*, (2017), além da integração, as empresas podem apresentar bem estruturada a interoperabilidade para a troca de informações, ou seja, os sistemas são capazes de se comunicarem entre si de forma transparente e efetiva.

Pode-se inferir que:

- O elemento mais importante do nível 4 consiste na integração do sistema de gestão da qualidade com um determinado grau de interoperabilidade no qual os processos são totalmente planejados e implementados de acordo com as melhores práticas da Indústria 4.0.

No quinto e último nível, os autores Sutoova, Soos e Koca, (2020); Carolis *et al.*, (2017) e Dutta *et al.*, (2020) abordam que os processos de gestão da qualidade são digitalizados por meio da utilização das tecnologias da Indústria 4.0. Mais especificamente, Carolis *et al.*, (2017) relatam que as empresas que estão no nível 5 apresentam alto nível de integração, interoperabilidade, velocidade e segurança na troca de informações. Além disso, Stawiarska *et al.*, (2021); Kenett e Zonnenshain, (2020); Glogovac, Maricic e Ruso (2020); Negron, (2020) e Dutta *et al.*, (2020) afirmam que no nível 5 as empresas buscam o aprendizado contínuo, respaldadas por uma cultura organizacional de inovação e melhoria contínua.

Com base nisso, pode-se concluir que:

- O elemento mais importante do nível 5 consiste nas empresas apresentarem alto nível de integração, além da busca pelo aprendizado contínuo aderida à cultura organizacional, suportadas pelas tecnologias da Indústria 4.0.

A partir destas constatações, foi elaborado um quadro resumo contendo a união de conceitos em comum de cada autor analisado, de modo a uni-los em um único modelo de avaliação de maturidade. O Quadro 6 apresenta os níveis de maturidade analisados de forma condensada.

Quadro 6 – Quadro resumo dos níveis de maturidade da Qualidade 4.0 analisados

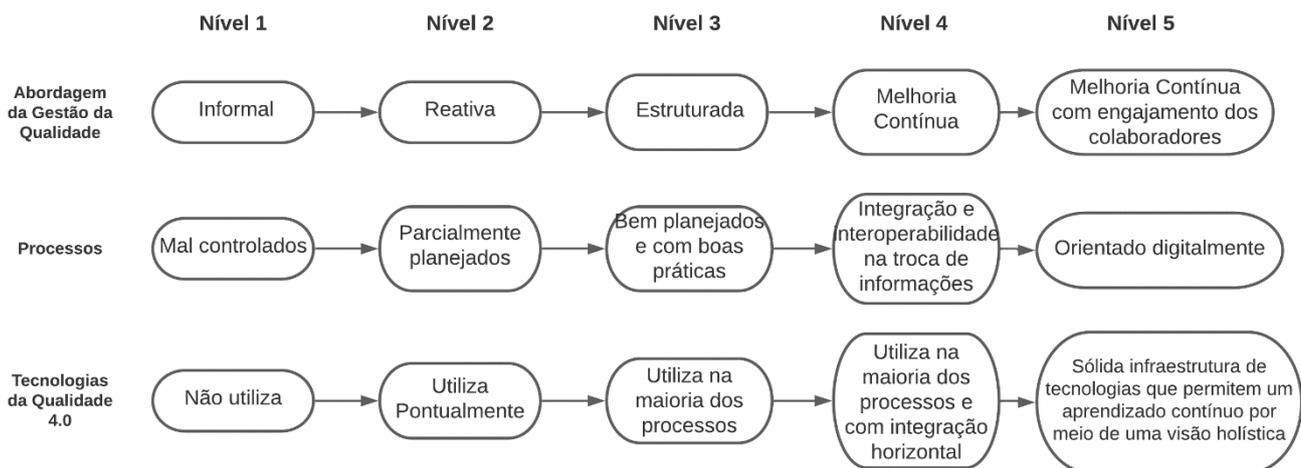
Níveis	Descrição
Nível 1	A empresa não apresenta uma abordagem formal de gestão da qualidade, possui processos mal controlados, não utiliza as tecnologias da Qualidade 4.0, possui um descompromisso com a qualidade bem como lida com os problemas de forma aleatória com prazos curtos.
Nível 2	A empresa apresenta uma abordagem reativa de gestão da qualidade, tendo os processos parcialmente planejados bem como análise descritiva simplificada baseada em planilhas. Além disso, a organização utiliza algumas das tecnologias da Qualidade 4.0 de forma pontual.
Nível 3	A empresa apresenta uma abordagem formalizada e estruturada de gestão e melhoria da qualidade, tendo seus processos bem compreendidos e descritos. Os processos são definidos a partir do planejamento e implantação de boas práticas e procedimentos de gestão. Emprega tecnologias da I4.0 na maioria dos processos da cadeia produtiva visando a elaboração de produtos customizados, porém apresenta lacunas em relação à integração e interoperabilidade.
Nível 4	A empresa possui a gestão da qualidade desde o projeto, apresentando engajamento dos colaboradores com foco na melhoria contínua por meio da mensuração e análise de modo abrangente em seus processos. Além disso apresenta integração horizontal na qual as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem a integração e a interoperabilidade entre os sistemas. Além disso, a tomada de decisão é baseada em dados.
Nível 5	A empresa possui a qualidade digitalizada, integrada, estruturada e está aderida à cultura organizacional, incluindo a alta gerência. Além disso, apresenta uma sólida infraestrutura de tecnologias da Qualidade 4.0 que permitem um aprendizado contínuo por meio de uma visão holística do contexto da organização. Também, a

empresa possui elevado nível de integração e interoperabilidade.
--

Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos trabalhos de fulano, beltrano

A Figura 9 apresenta o diagrama dos itens mais importantes dos níveis de maturidade da Qualidade 4.0 analisados.

Figura 9 – Diagrama dos itens mais importantes dos níveis de maturidade da Qualidade 4.0 analisados



Fonte: O autor.

A seguir, são apresentadas as lacunas observadas a partir da análise dos modelos em questão.

4.2 LACUNAS OBSERVADAS

Neste item são apresentadas as lacunas encontradas a partir da avaliação crítica dos modelos estudados, ou seja, aspectos que os modelos descritos nas referências bibliográficas não abordam e que fazem parte do modelo aqui proposto.

Por meio da análise dos artigos estudados, foram identificadas algumas lacunas nos modelos de maturidade utilizados pelos autores, apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Lacunas dos modelos de maturidade estudados

	Lacunas	Dimensões	Observações
DUTTA <i>et al.</i> , 2020	Os autores sugerem considerar no modelo equipamentos de inspeção, calibração e rastreabilidade adequados à IoT visando sistemas de qualidade flexíveis e adaptáveis à dinâmica do mercado.	Aplicado na dimensão de gestão da qualidade no ciclo PDCA.	Foi aplicado a pequenas e médias empresas.
STAWIARSKA <i>et al.</i> , 2021	Os autores sugerem estudar outros setores incluindo as características do ambiente competitivo como a complexidade dos produtos oferecidos e o ambiente regulatório.	Digitalização do Sistema de Produção; Digitalização do Sistema Logístico; Sustentabilidade; Gestão da Qualidade; Gestão dos recursos humanos; Responsabilidade social/corporativa e Inovação.	Foi considerada apenas uma empresa automotiva polonesa.
KENETT; ZONNENSHAIN, 2020	Os autores sugerem considerar outras dimensões para a análise.	Liderança, Estratégia, Clientes, Operações, Recursos Humanos e Resultados	Foi aplicado em 15 empresas israelenses.
SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020	Os autores sugerem considerar as estratégias futuras das organizações visando definir as prioridades de ações do modelo.	Modelo de negócios, portfólio de produtos e serviços; Acesso ao mercado e ao cliente; Cadeias de valor e processos; Infraestrutura de TI; Compliance e Cultura Organizacional	Foi aplicado em indústrias automotivas eslovacas.
CAROLIS <i>et al.</i> , 2017	Os autores sugerem desenvolver ações a serem realizadas para melhorar a maturidade dos processos com a finalidade de se obter uma maior digitalização.	Projeto e engenharia, Gestão da produção, Gestão da qualidade, Gestão da manutenção e Gestão da logística	Foi proposto um modelo de avaliação da maturidade com base na estrutura de processo DREAMY.

	Lacunas	Dimensões	Observações
CROSBY, 1996; NEGRON, 2020.	Os autores sugerem considerar, além do contexto operacional, o desempenho global da organização bem como aprofundar as práticas de qualidade a serem promovidas no desenvolvimento da maturidade para empresas de médio porte.	Comprometimento e liderança da alta administração; Gestão de Recursos Humanos, Informação e análise de qualidade; Gerenciamento de processos; Foco e satisfação do cliente; Gestão da qualidade do fornecedor; Planejamento da qualidade da estratégia; Performance operacional;	Foi proposto o modelo com base em indústrias peruanas.
GLOGOVAC, MARICIC e RUSO (2020)	Os autores sugerem considerar aprofundar os estudos dos constructos em diferentes contextos da organização e buscar uma maior flexibilidade de ajuste do modelo.	Estratégia, Liderança, Cultura, Pessoas E Governança	O modelo foi desenvolvido com base em empresas automotivas, alimentação, tecnologia da informação e de serviços.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas referências bibliográficas estudadas, as propostas, as sugestões e as delimitações listadas pelos autores citados não foram implementadas ou tiveram seu viés prático analisado. Além disso, cabe destacar que, conforme o Quadro 14, uma das lacunas encontradas, em comum a todos os estudos, é o contexto de aplicação. Mais especificamente, esses modelos não consideraram o contexto brasileiro no seu desenvolvimento e estudo.

Esses modelos não consideraram as características do ambiente competitivo como a complexidade dos produtos oferecidos e o ambiente regulatório, as estratégias da organização, os equipamentos de inspeção, calibração e rastreabilidade adequados à IoT visando sistemas de qualidade flexíveis e adaptáveis à dinâmica do mercado. Portanto, o presente estudo visa suprimir essas lacunas.

Além dessas lacunas, considerando o suporte prático também se propõe, como característica incluída no modelo, e que não foi abordada pelos modelos estudados, é a integração entre os ambientes operacionais, táticos e estratégicos da Qualidade 4.0 na organização.

No ambiente estratégico, a Qualidade 4.0 está presente quando o setor de gestão de qualidade utiliza tecnologias da Indústria 4.0 para buscar um maior alinhamento da empresa

com o mercado, de modo a acompanhar e transmitir aos ambientes táticos e operacionais as mudanças de hábitos, tendências e comportamentos dos consumidores em tempo real. Para isso, é necessário que os ambientes táticos e operacionais sejam flexíveis e ágeis para adaptarem o mais rápido possível a linha de produção bem como os recursos necessários para a nova demanda. Portanto, pode-se concluir que esta integração entre os três ambientes é fundamental para a correta adoção da Qualidade 4.0 nas organizações.

Essa integração considerou os seguintes 3 ambientes de atuação da gestão da qualidade propostos por Paladini (2019): (1) Operacional (2) Tático (3) Estratégico e seus respectivos indicadores de avaliação da qualidade in-line, off-line e on-line.

O ambiente (1) Operacional com indicadores in-line está relacionado aos processos produtivos na linha de produção, no qual a qualidade está corresponde ao atendimento às especificações, à capacidade de produção, à otimização de processos, à ausência de defeitos, à produtividade e às estratégias operacionais da empresa (PALADINI, 2019).

Já o ambiente (2) Tático com indicadores off-line consiste nas ações de suporte ao ambiente operacional, como por exemplo os procedimentos de manutenção, o Planejamento e Controle de Produção (PCP), os modelos gerenciais, as ações de recrutamento, seleção e capacitação de colaboradores, as práticas de segurança do trabalho, os programas de marketing, dentre outros conjuntos de atividades que apoiam indiretamente a produção (PALADINI, 2019).

E, por fim, o ambiente (3) Estratégico com indicadores on-line está associado ao relacionamento da empresa com o mercado, ao percebimento e compreensão das necessidades dos clientes e consumidores bem como à capacidade de reação frente às possíveis mudanças que venham a ocorrer no mercado. Neste ambiente, é fundamental que a organização perceba o mais rápido possível estas mudanças na demanda, como por exemplo novos hábitos dos consumidores, para então adequar os processos produtivos de modo a atender a essa nova realidade (PALADINI, 2019).

Propõe-se, também, incluir no modelo de Maturidade da Qualidade 4.0 uma característica conhecida como Indústria da Qualidade (IoQ), proposta por Kumar, Sahithi e Revanth (2020). Esta característica está relacionada com a capacidade das empresas em reduzir os custos da qualidade de conformidade e não-conformidade utilizando tecnologias da Indústria 4.0 como Internet das Coisas, Sistemas Ciber-físicos, Big Data e Gêmeos Digitais.

Além disso, outra característica inserida no modelo, proposta pelo autor do presente estudo, é o predomínio da avaliação da qualidade por variáveis em relação à avaliação da qualidade por atributos. Mais especificamente, as tecnologias da Indústria 4.0 possibilitaram

criar um modelo digital de inspeção para inspecionar as características da qualidade por meio de variáveis os quais antes só eram possíveis de serem realizados por meio de atributos com a presença de um profissional. A avaliação da qualidade torna-se muito mais precisa e confiável, além de não a tornar dependente exclusivamente dos inspetores.

Um programa de gestão do conhecimento estruturado para capacitar os colaboradores da empresa ao uso das tecnologias da Qualidade 4.0 é outra característica que foi incluída no modelo, também proposto pelo autor do presente estudo.

Devido às tecnologias e métodos relacionados à Qualidade 4.0 estarem mudando e evoluindo continuamente, é de suma importância que exista um programa contínuo e bem estruturado para capacitar os funcionários. Os colaboradores estarão qualificados para trabalhar com os softwares, máquinas, e métodos da Qualidade 4.0.

Os conhecimentos técnicos necessários para a Qualidade 4.0 são a capacidade de instalar e operar dispositivos relacionados à tecnologia da informação e análise de big data, além das habilidades comportamentais como boa comunicação, escuta ativa, aprendizado ativo, persuasão, adaptabilidade, pensamento crítico, criatividade, trabalho em equipe e compartilhamento de conhecimento (GUZMÁN *et al.*, 2020; ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020).

Neste capítulo, os modelos de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 foram analisados, reconhecidos aspectos em comum e identificadas lacunas que os autores das referências bibliográficas analisadas não abordaram.

4.3 PROPOSIÇÃO DE FATORES-CHAVE DE MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0

Em atendimento ao Objetivo específico 1, neste capítulo são propostos fatores-chave (motivadores) de maturidade da Qualidade 4.0.

4.3.1 Fatores-chave (motivadores) de maturidade da Qualidade 4.0

Para este estudo, propõe-se a seguinte definição de fatores-chave: Os fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0 podem ser definidos como sendo os aspectos mais relevantes que contribuem para se obter um maior nível de maturidade da Qualidade 4.0 (ANANTATMULA; RAD, 2018; HUSSAIN; KHAN, 2020; SCHUMACHER, Andreas; NEMETH; SIHN, 2019).

Com base no referencial teórico, no suporte prático, na análise dos modelos de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 e nas lacunas observadas, são propostos 24 fatores-chave:

Em relação à origem dos fatores-chave de maturidade apresentados a seguir, também denominada rastreabilidade dos fatores, estes foram definidos com base na análise crítica dos estudos elaborados pelos seguintes autores: DUTTA *et al.*, 2020; STAWIARSKA *et al.*, 2021; KENETT; ZONNENSHAIN, 2020; SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020; CAROLIS *et al.*, 2017; CROSBY, 1996; NEGRON, 2020; GLOGOVAC, MARICIC E RUSO, 2020, detalhados abaixo.

F1 – Engajamento dos colaboradores nos processos: O primeiro fator-chave adotado para este estudo consiste no engajamento dos colaboradores nos processos.

Este fator foi considerado para este estudo devido à importância do engajamento para o aumento da produtividade das atividades, corroborado pelos autores CROSBY, (1996); NEGRON, (2020).

F2 - Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade: O segundo fator-chave adotado para este estudo consiste no engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade.

Este fator foi considerado em razão de quando os colaboradores estão engajados na melhoria da qualidade, eles estão comprometidos no trabalho, refletindo em um maior cuidado e atenção aos detalhes. Além disso, eles se sentem mais responsáveis pelos resultados da empresa e estão mais propensos a tomar iniciativas de melhorias, em concordância com os autores CROSBY, (1996); NEGRON, (2020).

F3 – Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados: O terceiro fator-chave adotado para este estudo consiste no aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados.

Este fator foi selecionado em virtude do aprendizado contínuo ser essencial na área de ciência de dados, uma vez que é uma área que está em constante evolução e mudança além do que é essencial para que os profissionais possam entender os principais conceitos, técnicas e ferramentas utilizadas na qualidade, em alinhamento com os autores (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020).

F4 – A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na Indústria 4.0: O quarto fator-chave adotado para este estudo consiste na cultura organizacional apoiar o sistema de gestão da qualidade na Indústria 4.0.

Este fator foi adotado em função da Qualidade 4.0 ser alinhada à visão e à estratégia da organização e assim facilitar o atingimento de seus objetivos de longo prazo e adquirir vantagem competitiva. A forma como a visão e a estratégia são disseminadas entre a cultura

organizacional poderá auxiliar as empresas a se adaptarem melhor às ações da Qualidade 4.0 (ANTONY *et al*, 2021), sendo corroborado pelos autores (STAWIARSKA *et al.*, 2021; CROSBY, 1996; NEGRON, 2020).

A Qualidade 4.0 também pode proporcionar maior transparência dos dados, conectividade e colaboração entre os funcionários, sendo necessário as empresas terem uma cultura aberta e receptiva para se adaptar a essas mudanças. O conjunto de normas, crenças e valores compartilhados entre os colaboradores deve adequar-se à essa nova realidade (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020; ANTONY *et al*, 2021).

F5 – Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0: O quinto fator-chave adotado para este estudo consiste no suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0.

Esse suporte pode ser definido como sendo o grau em que os executivos da alta administração entendem a importância da Qualidade 4.0 para a organização bem como sua disposição para apoiar ações visando sua adequada implementação (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020; ANTONY *et al*, 2021).

Este fator foi selecionado por conta de que para liderar a Qualidade 4.0 é necessário um estilo de liderança que seja capaz de promover a inovação e o aprendizado entre os colaboradores. Em vista disso, os líderes devem inspirar, motivar e orientar as atividades para obter um maior alinhamento possível das práticas de gestão da qualidade com os conceitos da Indústria 4.0 de modo a atingir os objetivos organizacionais. A liderança voltada à Qualidade 4.0 corresponde a um fator de motivação da Qualidade 4.0 (ANTONY *et al*, 2021). A Qualidade 4.0 exige um estilo de liderança que considere inovação e aprendizado como valores fundamentais para ajudar a conduzir a empresa em direção à excelência (ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020), em consonância com os autores (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020; CROSBY, 1996; NEGRON, 2020).

Igualmente, por possibilitar informações confiáveis e em tempo real, ferramentas da Qualidade 4.0 que utilizam inteligência artificial, internet das coisas, computação em nuvem e big data contribuem para uma tomada de decisão baseada em dados precisos bem como critérios técnicos claros e confiáveis. Entretanto, para que isso ocorra, é necessário que a Qualidade 4.0 esteja aderida de alguma forma à cultura, à visão estratégica da empresa, à liderança dos gestores bem como ao suporte da alta administração à Qualidade 4.0 (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020).

F6 – Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional: O sexto fator-chave adotado para este estudo consiste no aprendizado contínuo adequado à cultura

organizacional. Este fator foi definido devido a cultura organizacional ser um dos principais fatores que influenciam a adoção do aprendizado contínuo, uma vez que ela molda as atitudes e comportamentos dos colaboradores em relação à adoção da Qualidade 4.0 bem como à identificação de problemas, à busca de soluções e a implementação de ações corretivas para evitar que os problemas ocorram novamente, em alinhamento com os autores Stawiarska *et al.*, (2021); Kenett e Zonnenshain, (2020); Glogovac, Maricic e Ruso (2020); Negron, (2020) e Dutta *et al.*, (2020)

F7 – Tomada de decisão fundamentada em dados: O sétimo fator-chave adotado para este estudo consiste na tomada de decisão fundamentada em dados.

Este fator foi selecionado em virtude da Qualidade 4.0 proporcionar aos gestores uma tomada de decisão fundamentada em dados. A tomada de decisão pode ser definida como um processo decisório de seleção de um caminho a ser seguido dentre as diversas alternativas possíveis com base em dados, conhecimentos, habilidades e experiências dos gestores e de sua equipe, sendo apoiado pelos autores Dutta *et al.*, (2020); Kenett e Zonnenshain, (2020); Sutoova, Soos e Koca, (2020).

Muitas vezes, os gestores selecionam a melhor alternativa de forma intuitiva, baseando-se somente em suas próprias experiências, valores e crenças individuais. Decisões parciais, fundamentadas exclusivamente nas percepções pessoais dos líderes, podem ser equivocadas por não serem escolhas racionais, podendo até mesmo comprometer os resultados da empresa. Neste contexto, com a finalidade de se obter uma escolha mais confiável e assertiva aos objetivos estratégicos da empresa, os gestores devem priorizar uma tomada de decisão fundamentada essencialmente em dados (KENETT; ZONNENSHAIN, 2020).

F8 – Os processos são planejados adequadamente: O oitavo fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem planejados adequadamente.

Este fator foi determinado devido ao planejamento adequado dos processos ser essencial para a Qualidade 4.0. Isso porque ele permite que a empresa estabeleça metas e objetivos claros, identifique os recursos necessários para alcançá-los e defina um plano de ação para executar esses processos de forma efetiva, em concordância aos autores Glogovac, Maricic e Ruso (2020) e Carolis *et al.*, (2017).

F9 – Os processos são implementados adequadamente: O nono fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem implementados adequadamente de acordo com as melhores práticas da Indústria 4.0. Este fator foi considerado pois a implementação adequada dos processos de acordo com as melhores práticas da Indústria 4.0 é

fundamental para garantir a eficiência, a produtividade, a qualidade e a flexibilidade na produção, além de reduzir custos e aumentar a competitividade no mercado, estando em aderência com os autores Glogovac, Maricic e Ruso (2020) e Carolis et al., (2017).

F10 – Os processos são bem compreendidos por todos: O décimo fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem bem compreendidos por todos. Este fator foi estabelecido em consequência da compreensão dos processos por todos os colaboradores de uma organização ser essencial para garantir a qualidade e a eficiência dos processos. Quando os colaboradores entendem os processos de produção e a sua importância para a empresa, eles se tornam mais engajados e motivados para realizar suas atividades de forma mais eficiente e com maior qualidade, estando em alinhamento com os autores Stawiarska et al., 2021.

F11 – Os processos são bem descritos: O décimo primeiro fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem bem descritos. Este fator foi estipulado devido que, para a implementação da Qualidade 4.0, é essencial que os processos estejam descritos detalhadamente para melhor entendimento bem como a identificação de oportunidades de melhoria e otimização, sendo corroborado pelos autores Stawiarska *et al.*, 2021.

F12 – Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual: O décimo segundo fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem gerenciados de forma dinâmica e ajustados de acordo com o momento atual.

Como uma característica importante da Indústria 4.0 é a interação em tempo real com o mercado, este fator foi definido em razão de a gestão dinâmica dos processos permitir que a empresa se adapte rapidamente às mudanças no mercado e às necessidades dos clientes, garantindo uma maior flexibilidade e agilidade nas operações, sendo corroborado pelos autores Glogovac, Maricic e Ruso (2020).

F13 – Os processos são gerenciados de forma inovadora: O décimo terceiro fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos serem gerenciados de forma inovadora.

Este fator foi determinado por conta de que gerenciar os processos de forma inovadora é suma importância para garantir que as indústrias se adaptem não somente às possíveis oscilações do mercado, mas também à contínua atualização e uso das tecnologias da Qualidade 4.0, estando em consonância com os autores Glogovac, Maricic e Ruso (2020).

F14 – Abordagem formalizada e estruturada de gestão: O décimo quarto fator-chave adotado para este estudo consiste na abordagem formalizada e estruturada de gestão.

Este fator foi decidido em função da gestão formalizada e estrutura poder permitir uma execução dos processos de modo mais consistente e eficiente com relação às especificações

dos produtos/serviços, estando em conformidade com os autores Stawiarska *et al.*, (2021); Carolis *et al.*, (2017) e Negron, (2020).

F15 – Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade: O décimo quinto fator-chave adotado para este estudo consiste na abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade.

Esse fator foi selecionado em virtude da relevância no processo contínuo de identificação, análise e correção de problemas em processos, produtos e serviços, por meio da adoção de medidas preventivas e corretivas, sendo corroborado pelos autores Stawiarska *et al.*, (2021); Carolis *et al.*, (2017) e Negron, (2020).

F16 – A empresa mensura de forma abrangente os processos: O décimo sexto fator-chave adotado para este estudo consiste na mensuração abrangente dos processos. Este fator foi adotado em resultado da mensuração dos processos possibilitar melhor identificação de problemas, falhas e gargalos nos processos, além de possibilitar informações precisas e confiáveis que ajudam a tomar decisões mais embasadas e fundamentadas, corroborado pelos autores Stawiarska *et al.*, (2021).

F17 – A empresa analisa de forma abrangente os processos: O décimo sétimo fator-chave adotado para este estudo consiste na análise abrangente dos processos. Alinhado ao fator anterior, este fator foi definido em razão de que quando uma organização analisa seus processos de forma abrangente, ela busca entender todos os aspectos e detalhes envolvidos em cada etapa do processo, possibilitando avaliar os riscos e oportunidades associados, estando em concordância com os autores Stawiarska *et al.*, (2021).

F18 – O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia: O décimo oitavo fator-chave adotado para este estudo consiste no processo ser orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia.

Este fator foi estabelecido em virtude de que, com uma infraestrutura de tecnologia consistente, as empresas podem aplicar tecnologias de forma mais efetiva para os princípios da Qualidade 4.0, como uma fabricação customizada em tempo real e alinhada com as necessidades do mercado, estando em alinhamento com os autores conforme Carolis *et al.*, 2017.

F19 – Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0: O décimo nono fator-chave adotado para este estudo consiste no Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0. Este fator foi definido em vista de que essas abordagens têm grande importância para a Qualidade 4.0, pois permitem que as empresas gerenciem os

processos de produção e qualidade de forma integrada e contínua, em tempo real, estando em conformidade com os autores DUTTA *et al.*, 2020.

F20 – Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas: O vigésimo fator-chave adotado para este estudo consiste na interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas. Este fator foi escolhido pois, também considerada como um dos princípios da Indústria 4.0, a interoperabilidade pode ser definida como a capacidade que um sistema tem de se comunicar de modo transparente com outro sistema. No contexto da Qualidade 4.0, a interoperabilidade pode estar presente quando um sistema de informações estratégicas, como por exemplo softwares fundamentados em Balanced Scorecard (BSC) e Enterprise Resource Planning (ERP), comunicam-se diretamente com softwares de outras áreas como, por exemplo, desenvolvimento de produtos. Essa interoperabilidade permite um alinhamento e ajuste automático e em tempo real da linha de produção com as flutuações do mercado, em alinhamento com os autores KENETT; ZONNENSHAIN, 2020, Carolis *et al.*, (2017).

F21 – Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados: O vigésimo primeiro fator-chave adotado para este estudo consiste no uso de Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados.

Este fator foi definido com base que, alinhado à customização, segundo Antony *et al.* (2021), as empresas não devem somente produzir produtos e serviços excelentes, mas também buscar satisfazer as necessidades por meio de processos centrados nos clientes, corroborado pelos autores DUTTA *et al.*, 2020.

F22 – Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída: O vigésimo segundo fator-chave adotado para este estudo consiste nos processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída.

Este fator foi selecionado pois, ao integrar esses processos, é possível identificar oportunidades de melhoria em toda a cadeia de valor e garantir que todos os departamentos estejam alinhados aos objetivos de qualidade da organização. Isso também ajuda a garantir que a qualidade do produto ou serviço seja mantida em todas as etapas do processo, desde a produção até a entrega ao cliente final, estando em consonância com os autores (DUTTA *et al.*, 2020, SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020).

F23 – Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos: O vigésimo

terceiro fator-chave adotado para este estudo consiste em compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos, em conformidade com os autores SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020.

F24 – Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção: O vigésimo quarto fator-chave adotado para este estudo consiste nas tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção, em alinhamento com os autores SUTOOVA; SOOS; KOCA, 2020.

Além dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 citados acima, também foram agrupados dentro dos fatores-chave as seguintes tecnologias da Qualidade 4.0: (T1 - tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores; T2 - Computação em nuvem; T3 - Big Data; T4 - Aprendizado de Máquina; T5 - Aprendizado Profundo; T6 - Inteligência Artificial; T7 - Ciência de dados; T8 – Blockchain; T9-Manufatura aditiva e T10 - Realidade Aumentada. Estas tecnologias foram selecionadas com base no estudo elaborado pelos autores ANTONY; DOUGLAS; SONY, 2020.

E por fim, os fatores-chave foram classificados nas seguintes 4 dimensões: (1) Cultural (F1 ao F6); (2) de Gestão (F7 ao F17), Tecnológica (F18 ao F20, T1 à T10) e de Integração (F21 ao F24). Estas dimensões foram adaptadas de acordo com as seguintes dimensões propostas por Elibal e Özceylan (2022): Estratégia, Cadeia de Valor, Organização, Recursos Humanos, Tecnologia. Mais especificamente, a dimensão Estratégia e Cadeia de Valor foram unificadas para as dimensões de Gestão e Integração. Já as dimensões Organização e Recursos Humanos foram agregadas para a dimensão Cultural. E a dimensão Tecnológica é mantida.

Para melhor visualização, o Quadro 8 apresenta os fatores-chave (motivadores) e tecnologias propostos de maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro.

Quadro 8 - Fatores-chave (motivadores) e tecnologias da maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

Dimensão	Fatores-chave e tecnologias de maturidade da Qualidade 4.0	
Dimensão Cultural	F1	Engajamento dos colaboradores nos processos
	F2	Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade
	F3	Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
	F4	A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0
	F5	Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0
	F6	Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional
Dimensão de gestão	F7	Tomada de decisão fundamentada em dados
	F8	Os processos são planejados adequadamente
	F9	Os processos são implementados adequadamente
	F10	Os processos são bem compreendidos por todos
	F11	Os processos são bem descritos
	F12	Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual
	F13	Os processos são gerenciados de forma inovadora
	F14	Abordagem formalizada e estruturada de gestão
	F15	Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade
	F16	A empresa mensura de forma abrangente os processos
	F17	A empresa analisa de forma abrangente os processos
Dimensão Tecnológica	F18	O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia
	F19	Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0
	F20	Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas
	T1	Tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores
	T2	Computação em nuvem
	T3	Big Data
	T4	Aprendizado de Máquina
	T5	Aprendizado Profundo
	T6	Inteligência Artificial
	T7	Ciência de dados
	T8	Blockchain
T9	Manufatura aditiva	

Dimensão	Fatores-chave e tecnologias de maturidade da Qualidade 4.0	
	T10	T10 Realidade Aumentada
Dimensão de Integração	F21	Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados
	F22	Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída
	F23	Integração horizontal: quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos
	F24	Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção

Fonte: Elaborado pelo autor.

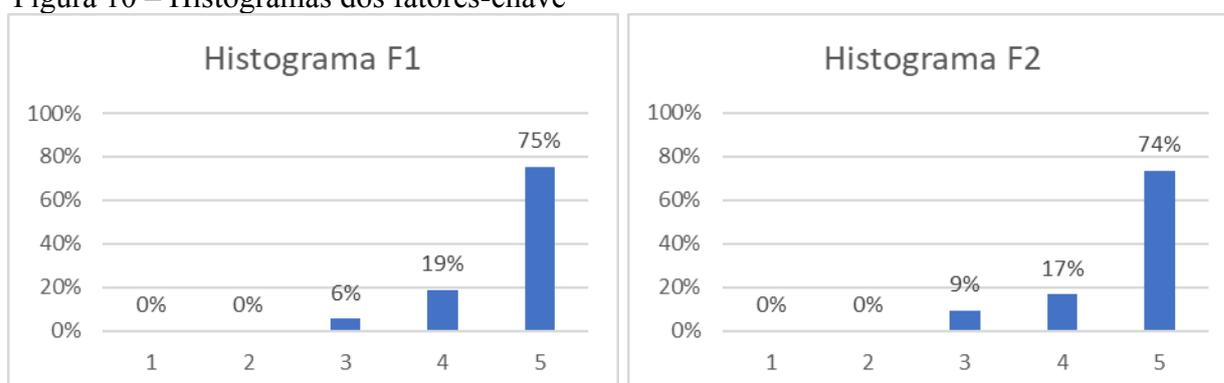
A partir dos fatores-chave definidos, o próximo item apresentará o seu nível de importância considerando o contexto brasileiro.

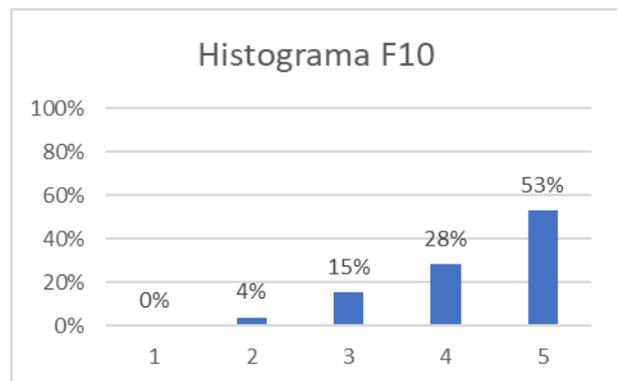
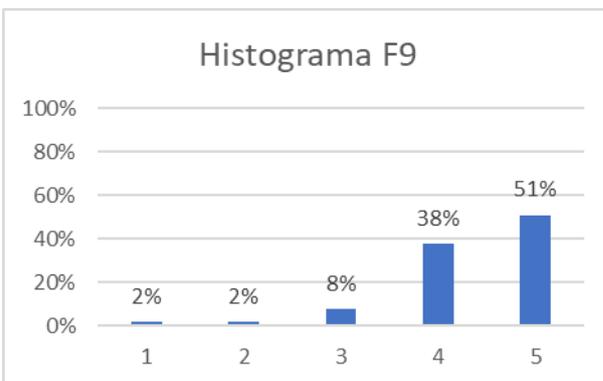
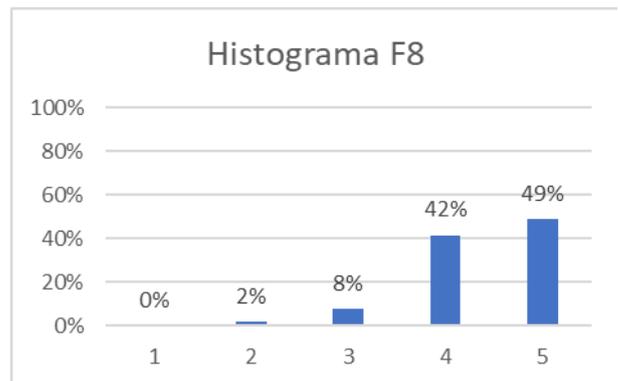
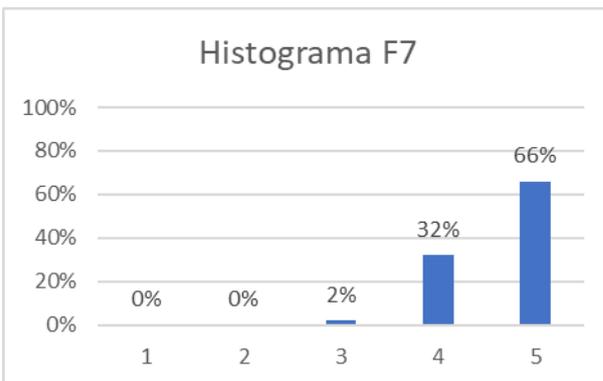
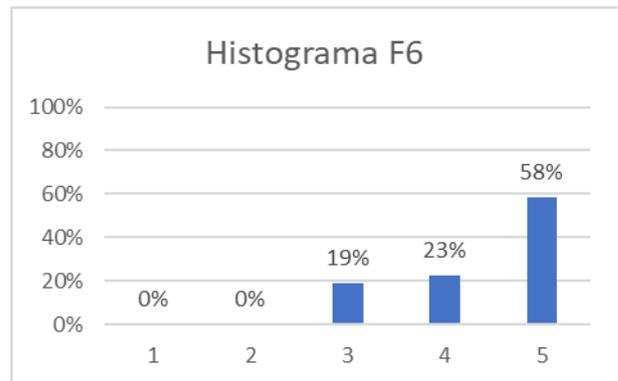
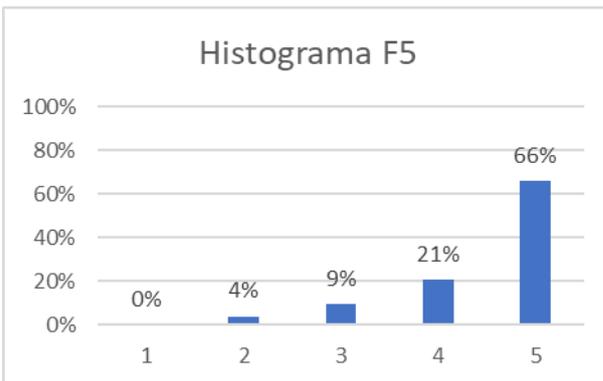
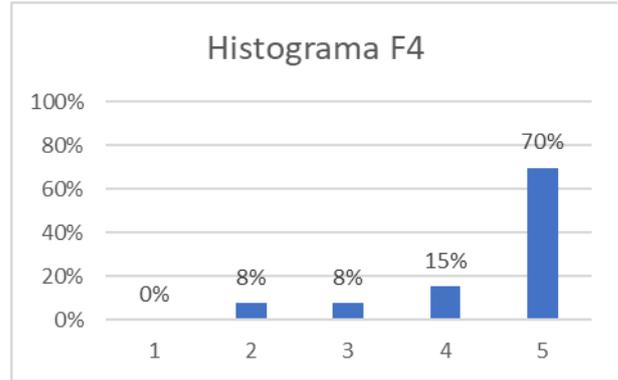
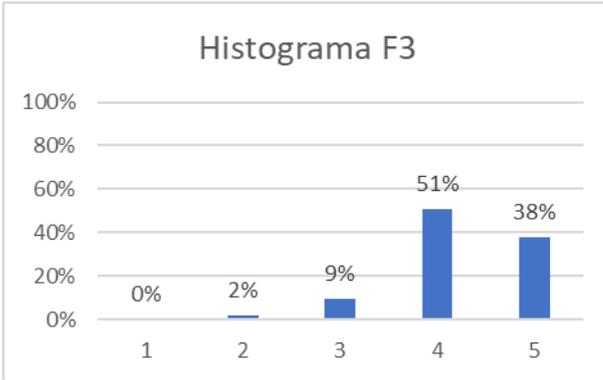
4.3.2 Nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0

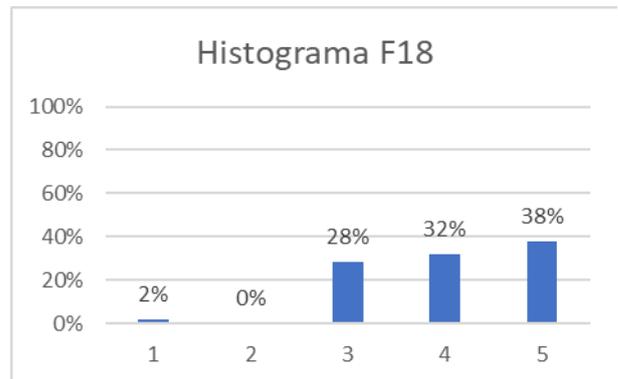
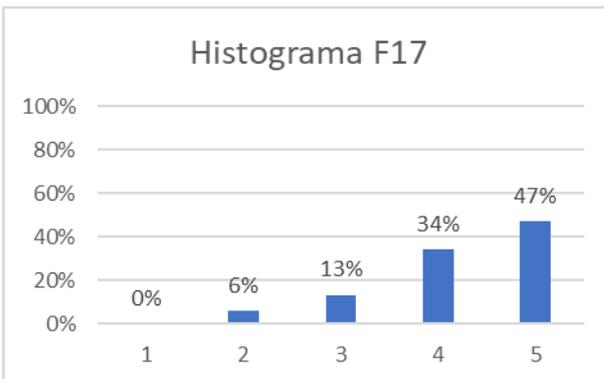
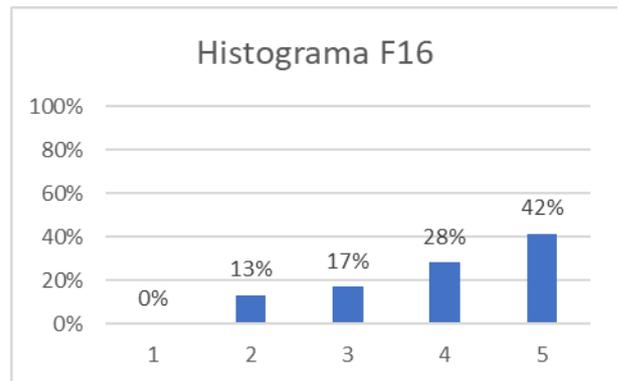
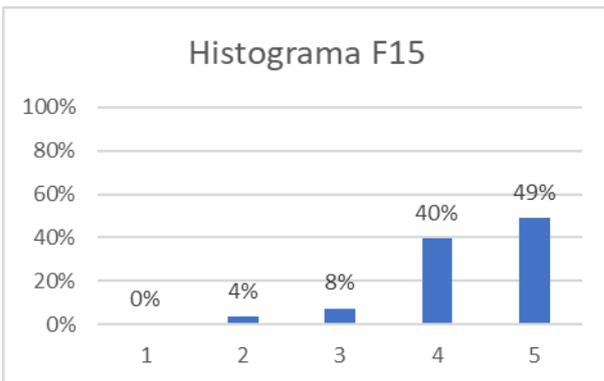
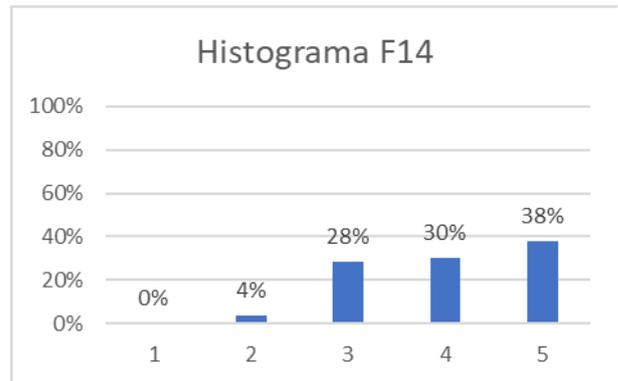
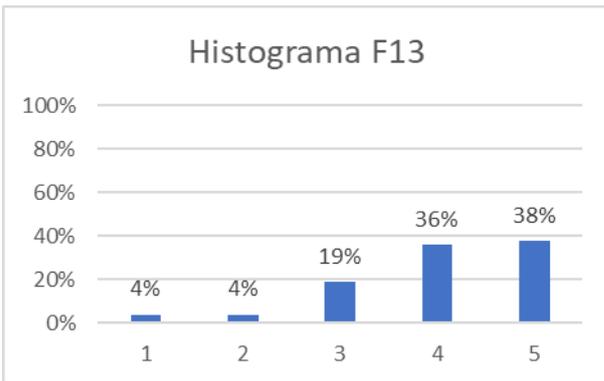
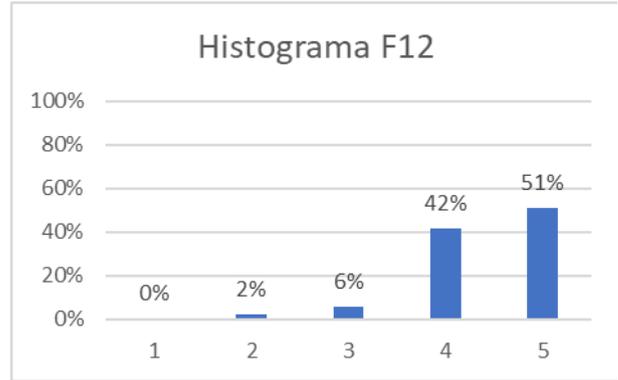
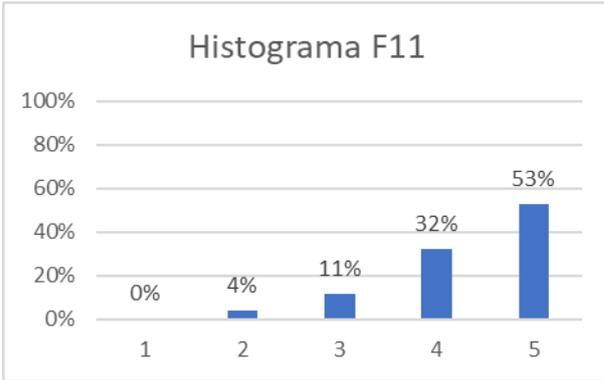
Em atendimento ao Objetivo específico 2, neste item é avaliado o nível de importância dos fatores-chave propostos considerando o contexto brasileiro, por meio do Questionário A (Apêndice A).

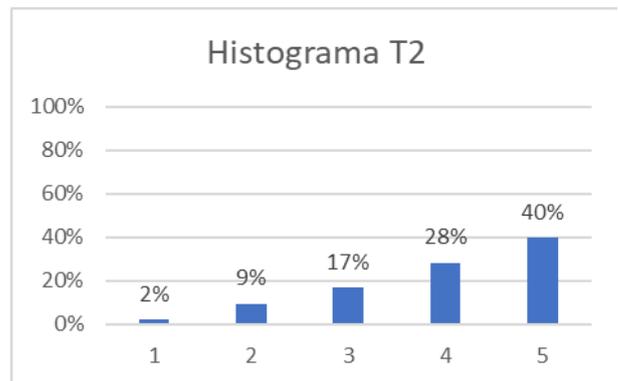
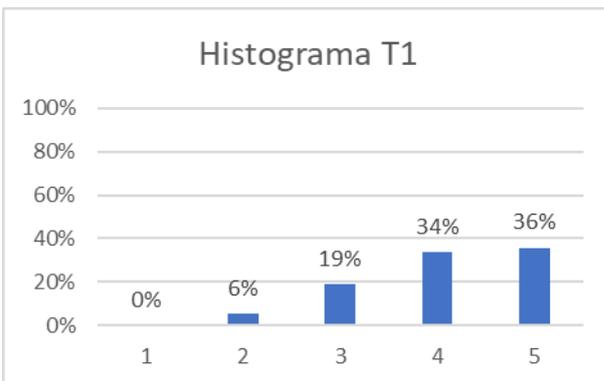
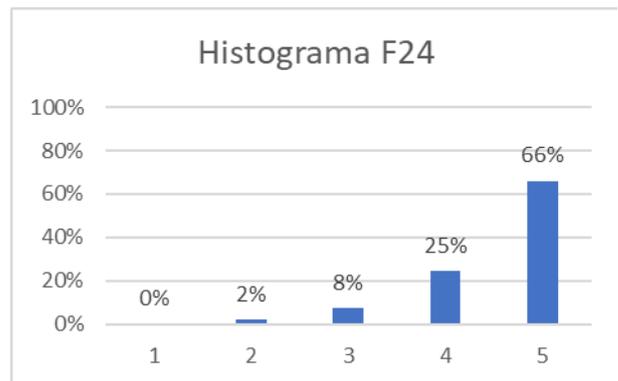
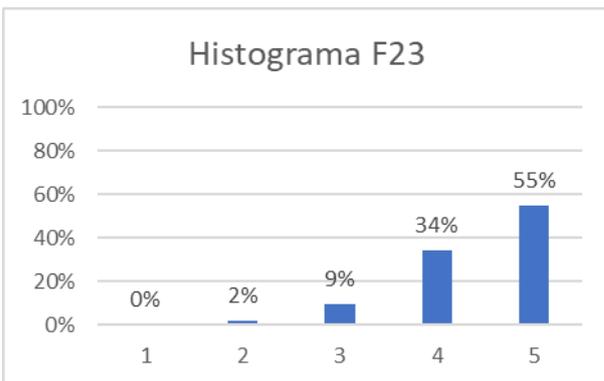
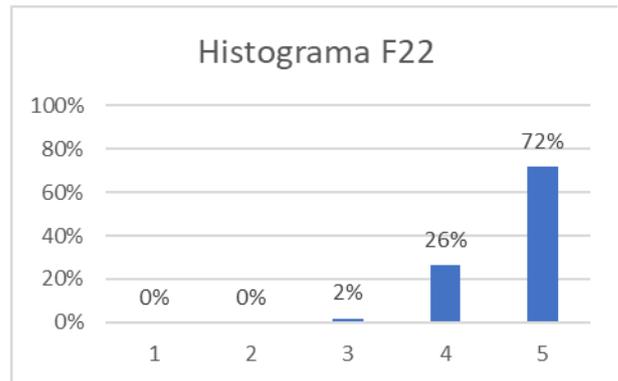
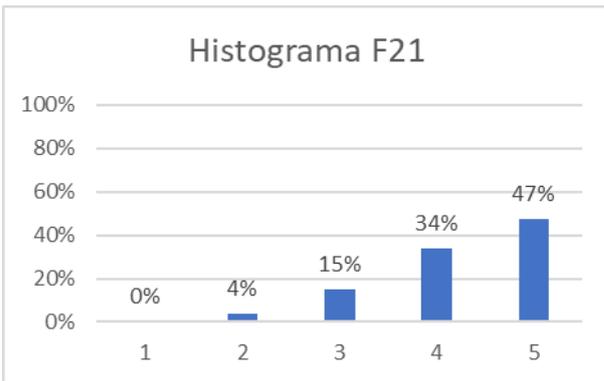
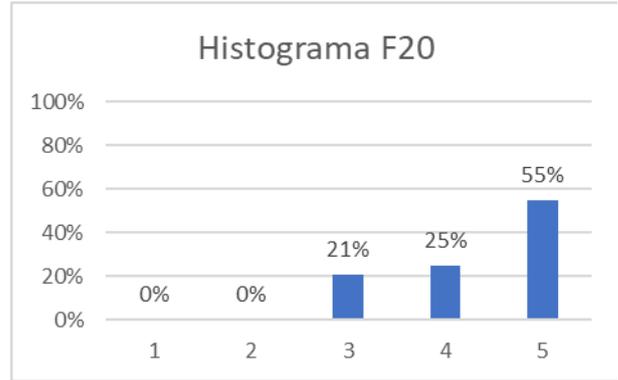
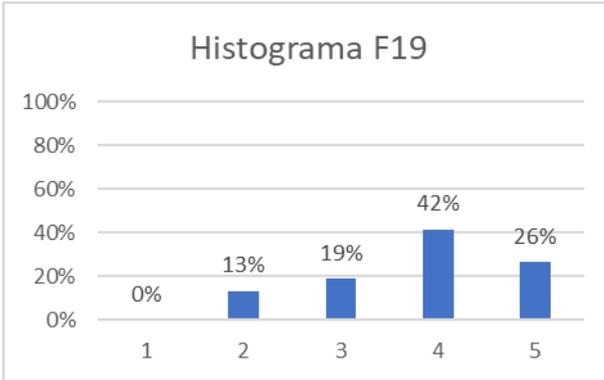
A seguir, são apresentados a frequência de respostas de cada fator-chave proposto, considerando 1 (baixo nível de importância) e 5 (alto nível de importância). Dessa forma, a Figura 10 apresenta, para cada fator chave e tecnologias, a frequência de resposta das notas obtidas pelos 53 especialistas respondentes, detalhados anteriormente na caracterização da amostra.

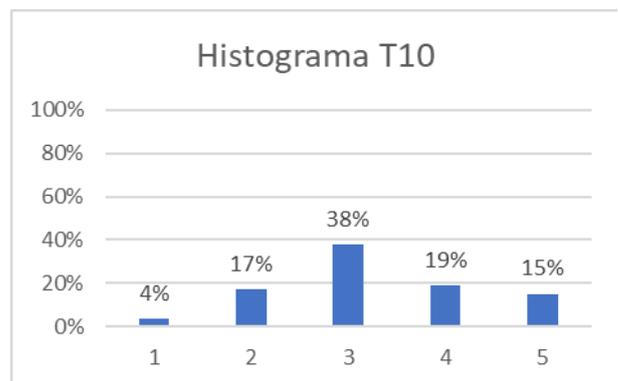
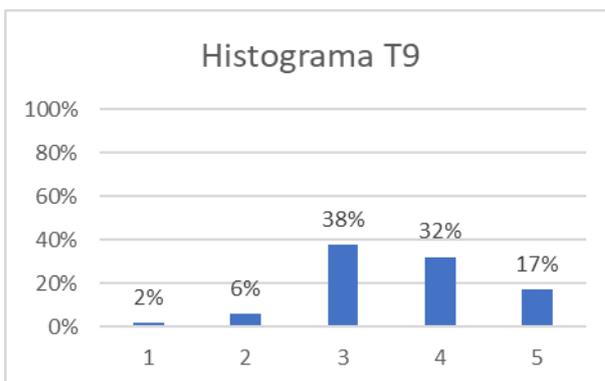
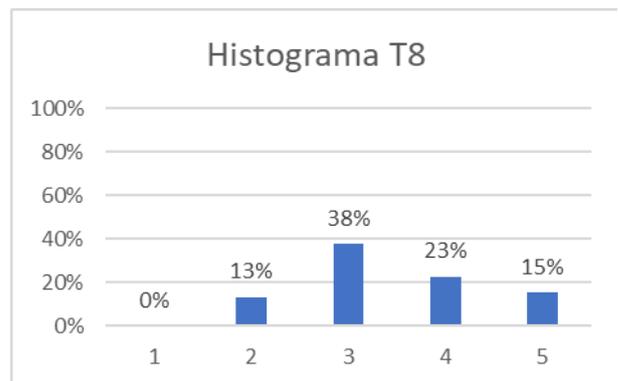
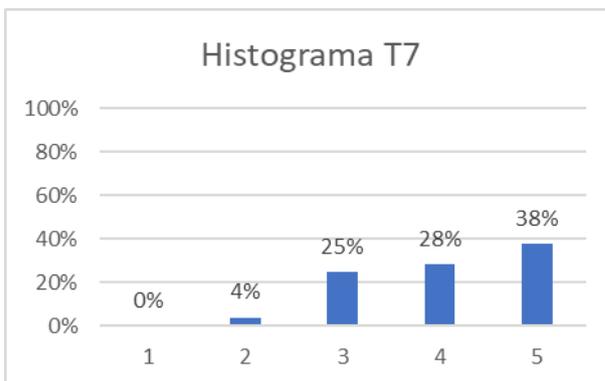
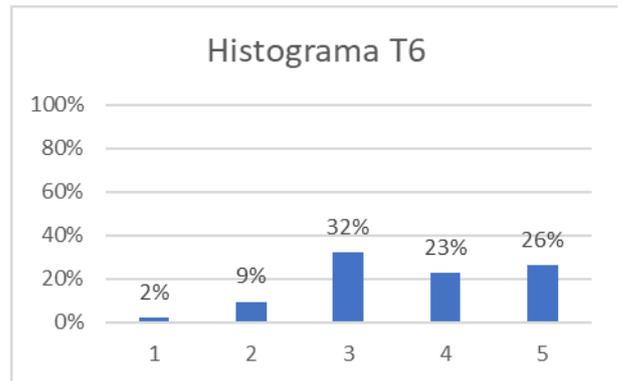
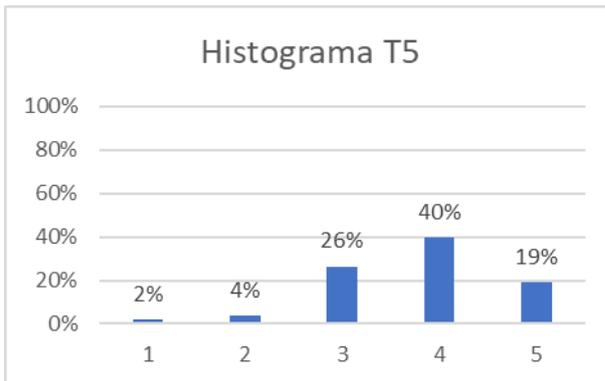
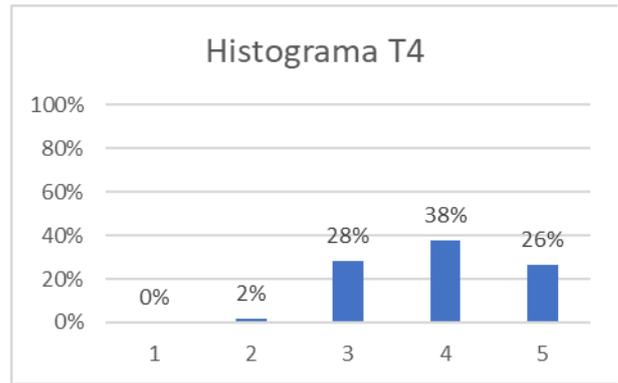
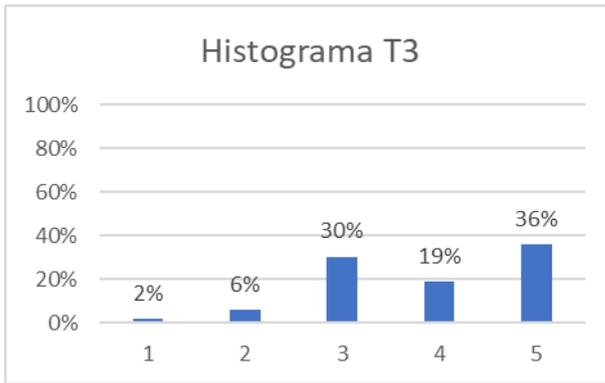
Figura 10 – Histogramas dos fatores-chave











Posteriormente, foi aplicada a mediana, abordagem quantitativa mais adequada para escalas ordinais, conforme Mattar (2000). Esta mediana determina o Nível de Importância dos fatores-chave no contexto brasileiro, apresentados no Quadro 9. Além disso, ao avaliar a

importância geral de cada dimensão, foi considerado o fator de menor relevância correspondente a respectiva dimensão.

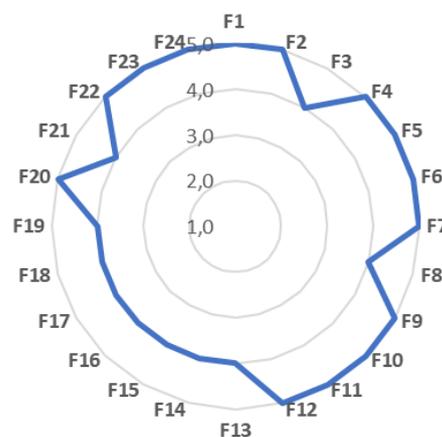
Quadro 9 - Nível de Importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0

Dimensão	Nível de Importância no Contexto Brasileiro	Fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0	
Dimensão Cultural	5,00	F1	Engajamento dos colaboradores nos processos
	5,00	F2	Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade
	4,00	F3	Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
	5,00	F4	A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0
	5,00	F5	Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0
	5,00	F6	Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional
	4,00	ID1	Importância Dimensão Cultural
Dimensão de gestão	5,00	F7	Tomada de decisão fundamentada em dados
	4,00	F8	Os processos são planejados adequadamente
	5,00	F9	Os processos são implementados adequadamente
	5,00	F10	Os processos são bem compreendidos por todos
	5,00	F11	Os processos são bem descritos
	5,00	F12	Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual
	4,00	F13	Os processos são gerenciados de forma inovadora.
	4,00	F14	Abordagem formalizada e estruturada de gestão
	4,00	F15	Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade
	4,00	F16	A empresa mensura de forma abrangente os processos
	4,00	F17	A empresa analisa de forma abrangente os processos
	4,00	ID2	Importância Dimensão de Gestão
	Dimensão Tecnológica	4,00	F18
4,00		F19	Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0
5,00		F20	Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas
4,00		T1	Tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores
4,00		T2	Computação em nuvem
4,00		T3	Big Data
4,00		T4	Aprendizado de Máquina

Dimensão	Nível de Importância no Contexto Brasileiro	Fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0	
	4,00	T5	Aprendizado Profundo
	4,00	T6	Inteligência Artificial
	4,00	T7	Ciência de dados
	3,00	T8	Blockchain
	4,00	T9	Manufatura aditiva
	3,00	T10	T10 Realidade Aumentada
	3,00	ID3	Importância Dimensão Tecnológica
Dimensão de Integração	4,00	F21	Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados
	5,00	F22	Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída
	5,00	F23	Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.
	5,00	F24	Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção
	4,00	ID4	Importância Dimensão de Integração

Com base nas medianas, a Figura 11 apresenta uma representação visual do nível de importância dos fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 considerando o contexto brasileiro.

Figura 11 – Representação visual da Importância dos fatores-chave
Nível de Importância dos Fatores-chave



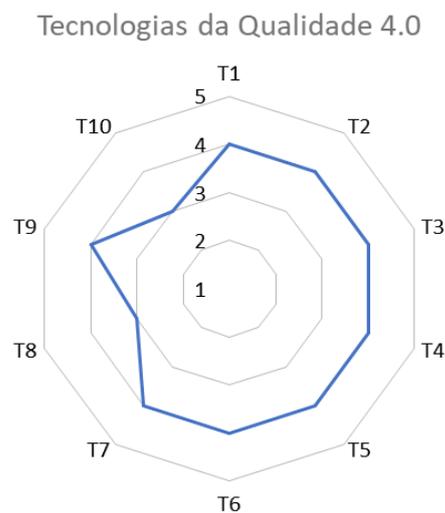
Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a mediana, que determina o nível de importância dos fatores-chave no contexto brasileiro, pode-se concluir que o engajamento dos colaboradores nos processos (F1), o engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade (F2), o apoio da cultura organizacional no sistema de gestão da qualidade na I4.0 (F4), o suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0 (F5) e o aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional (F6) são os fatores mais importantes da dimensão cultural.

Já na dimensão de gestão, a tomada de decisão fundamentada em dados (F7), a implementação, a compreensão, a descrição e a gestão de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual dos processos adequados (F9, F10, F11, F12), são considerados os fatores mais importantes para os respondentes. Na dimensão tecnológica, a interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas (20) é o fator mais importante. E por fim, e os processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída (F22) bem como a integração vertical e horizontal (F23, F24) são os fatores mais importantes da dimensão de integração.

Já para as tecnologias, a Figura 12 apresenta uma representação visual do nível de importância das tecnologias da Qualidade 4.0 considerando o contexto brasileiro, com base nas medianas.

Figura 12 - Representação visual da Importância das tecnologias da Q.4.0



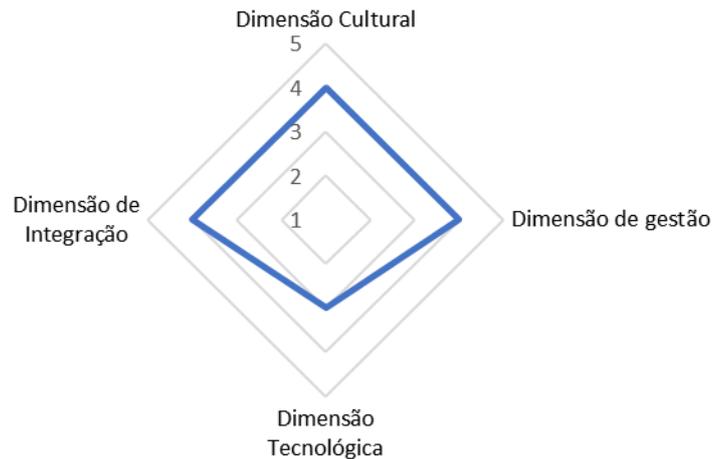
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a figura acima, pode-se concluir que as tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores (T1), a computação em nuvem (T2), o Big Data (T3), o Aprendizado de Máquina (T4), o Aprendizado Profundo (T5), a Inteligência Artificial (T6), a

ciência de dados (T7) e a manufatura aditiva (T9) correspondem ao nível 4 de importância em relação ao contexto brasileiro.

A Figura 13 apresenta uma representação visual do nível de importância das dimensões dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 considerando o contexto brasileiro obtido por meio do menor valor das medianas respectivas de cada dimensão.

Figura 13 - Representação visual da Importância das Dimensões



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fundamentado na figura acima, pode-se concluir que a dimensão cultural, de integração e de gestão apresentaram maior relevância para a Qualidade 4.0, seguida da dimensão tecnológica.

4.4 AUTOAVALIAÇÃO

Para determinar o atual nível de maturidade da Qualidade 4.0 foi proposto um questionário de autoavaliação (Apêndice C, aba 1). O questionário é composto por 34 itens a serem analisados pela empresa e é fundamentado nos 24 fatores-chave e nas 10 tecnologias da Qualidade 4.0. A seguir, é apresentada a listagem das perguntas constantes na autoavaliação.

Dimensão Cultural

- 1) Como é o engajamento dos colaboradores nos processos?
- 2) Como é o engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade?
- 3) Há um aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados?
- 4) A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0?
- 5) Há o suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0?
- 6) Há um aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional?

Dimensão de Gestão

- 7) Há a tomada de decisão fundamentada em dados?
- 8) Os processos são planejados adequadamente?
- 9) Os processos são implementados adequadamente?
- 10) Os processos são bem compreendidos por todos?
- 11) Os processos são bem descritos?
- 12) Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual?
- 13) Os processos são gerenciados de forma inovadora?
- 14) Há uma abordagem formalizada e estruturada de gestão?
- 15) Há uma Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade?
- 16) A empresa mensura de forma abrangente os processos?
- 17) A empresa analisa de forma abrangente os processos?

Dimensão Tecnológica

- 18) O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia?
- 19) Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0?
- 20) Há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas?

Qual o nível de utilização das seguintes tecnologias da Indústria 4.0 nos processos de gestão e avaliação da qualidade?

- Códigos QR e RFID e sensores
- Computação em nuvem
- Big Data
- Aprendizado de Máquina
- Aprendizado Profundo
- Inteligência Artificial
- Ciência de dados
- Blockchain
- Manufatura aditiva
- Realidade Aumentada

Dimensão de Integração

- 21) Há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados?

- 22) Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída?

- 23) Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.

- 24) Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção.

Esta autoavaliação está detalhada e completa na Aba 1 da Planilha em Excel constante no Apêndice C.

4.5 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

Com base no nível de importância e nível atual de cada fator-chave e tecnologia, são propostas melhorias genéricas com base no suporte teórico e prático.

De forma geral, pode-se considerar o seguinte:

1. Para a empresa que estiver com nível 1 de maturidade a um determinado fator-chave, a ação será estruturar e implementar a melhoria genérica proposta.
2. Para o nível 2 de maturidade, a ação será padronizar a melhoria proposta.
3. Caso a empresa esteja no nível 3, a ação será gerenciar quantitativamente a melhoria proposta.
4. Caso a empresa esteja no nível 4, a ação será otimizar continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais a melhoria proposta.
5. E, caso a empresa já esteja no nível 5, a ação será de manter a situação atual.

De forma mais específica e direcionada, são propostas, a seguir, melhorias para cada fator e para cada tecnologia.

1. F1 – Engajamento dos colaboradores

1.1. Melhoria Proposta: Desenvolvimento de um plano de aumento de engajamento focado nos processos.

1.2. Fonte: Adaptado de (SCHAUFELI; SALANOVA, 2010).

1.3. Ações: Recomenda-se um plano de aumento de engajamento focado nos processos composto pelos itens abaixo.

1.3.1. Diagnóstico da Situação atual

Primeiramente, busca-se realizar um diagnóstico para verificar a atual situação da empresa relacionada ao nível de engajamento dos colaboradores nos processos.

1.3.2. Avaliação do colaborador

Posteriormente, sugere-se o desenvolvimento de um contrato psicológico que envolve (i) avaliação de valores, preferências e objetivos pessoais e profissionais do funcionário; (ii) negociação e redação de um contrato escrito (Acordo de Desenvolvimento do Empregado) que garanta os recursos necessários da organização para atingir metas pessoais significativas; e (iii) monitoramento periodicamente deste acordo escrito em termos de cumprimento de metas.

1.3.3. Auditorias periódicas de bem-estar no trabalho

Esta ação visa avaliar fatores de estresse, como sobrecarga de trabalho, conflitos, problemas de função, demandas emocionais, interferência trabalho-casa, burnout.

Também busca-se considerar recursos do trabalho, com ênfase em feedback, apoio social, controle do trabalho, desenvolvimento de carreira, engajamento, depressão, absenteísmo, rotatividade, satisfação no trabalho, comprometimento organizacional.

1.3.4. Oficinas de engajamento no trabalho

Aqui investe-se em Círculo de Controle de Qualidade (CCQ) visando o aprimoramento de recursos pessoais, como habilidades cognitivas, comportamentais e sociais (por exemplo, pensamento positivo, estabelecimento de metas, gerenciamento de tempo e melhoria do estilo de vida).

1.3.5. Reestruturação do Layout

Busca-se, aqui, reduzir a exposição a riscos psicossociais e aumentar a motivação dos funcionários.

1.3.6. Liderança

Aqui considera-se que líderes estabelecerem um clima organizacional positivo e motivador, caracterizado por justiça, confiança, abertura e solução construtiva de problemas.

1.3.7. Treinamentos

Esta ação visa estruturar treinamentos para capacitação dos colaboradores e aumentar sua empregabilidade.

2. F2 – Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade

2.1. Melhoria Proposta: Plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua.

2.2. Fonte: Adaptado de VAN ASSEN, 2021.

2.3. Ações: Propõe-se; um plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua composto pelos itens abaixo.

2.3.1. Diagnóstico da Situação atual

Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual nível de engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade.

2.3.2. Realização de treinamentos

Após a identificação da situação do engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade e suas causas, propõe-se elaborar e aplicar treinamentos direcionados às respectivas lacunas encontradas. Esse treinamento é necessário para desenvolver a participação dos

funcionários na melhoria da qualidade e dos processos. Recomenda-se que os funcionários tenham acesso a todas as informações, habilidades e competências relevantes para se envolver em atividades de melhoria da qualidade. Também é importante que se tenha uma visão abrangente em relação aos erros, vendo-os não como fracassos, mas como oportunidades de aprendizado, melhorias e inovação.

3. F3 – Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados

3.1. Melhoria Proposta: Plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados.

3.2. Fonte: Adaptado de BELINSKI, *et al.*, 2020.

3.3. Ações: Sugere-se; um plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados composto pelos itens abaixo.

3.3.1. Diagnóstico da Situação atual

Primeiramente, é fundamental verificar se os colaboradores estão aprendendo continuamente a utilizar as novas tecnologias da Indústria 4.0 por meio da análise do estado atual.

3.3.2. Programas de treinamento

Com o diagnóstico realizado, recomenda-se estruturar um plano de aprendizado contínuo na empresa alinhado às exigências das novas tecnologias associadas à Indústria 4.0, como a impressão 3D, sistemas de assistência, realidade aumentada, automação, sistemas ciber-físicos, transformação digital, digitalização e internet das coisas. Esse sistema deve ser contínuo fomentando competências para novos aprendizados devido às constantes mudanças tecnológicas, bem como habilidades para implementar novos sistemas voltados para o aumento da eficiência industrial, como orientação para a ação, aprendizagem ativa e colaborativa, construtivismo, *e-learning*, aprendizagem baseada em jogos, educação prática, aprendizagem baseada em problemas, simulação e aprendizagem baseada no trabalho.

4. F4 – Acultura organizacional em apoio ao sistema de gestão da qualidade na I4.0

4.1. Melhoria Proposta: Plano de aprimoramento da Cultura Organizacional.

4.2. Fonte: Adaptado de GROYSBERG *et al.* 2018.

4.3. Ações: Recomenda-se um plano de aprimoramento da cultura organizacional composto por:

4.3.1. Análise da situação atual:

Os líderes devem entender quais resultados a cultura produz e como ela se alinha ou não com as condições de mercado e negócios atuais e previstas relacionadas à Qualidade 4.0.

4.3.2. Seleção e desenvolvimento de líderes:

Busca-se desenvolver os líderes pois eles são importantes catalisadores da mudança, incentivando-a em todos os níveis e criando um clima seguro. Esse desenvolvimento tem por finalidade um maior entendimento da relevância, os benefícios e impactos pessoais e organizacionais que a Qualidade 4.0 poderá proporcionar.

4.3.3. Realização de alinhamentos periódicos:

Busca-se realizar discussões em grupo estruturadas para que os colaboradores conheçam os novos resultados que a Qualidade 4.0 proporcionará, criando assim um ciclo de feedback positivo.

4.3.4. Realização de treinamentos:

Realizar treinamentos e gerenciar o desempenho para reforçar a cultura orientada à Qualidade 4.0, reforçando comportamentos adequados à cultura almejada.

5. F5 – Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0

5.1. Melhoria Proposta: Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0.

5.2. Fonte: Adaptado de DONG; NEUFEL; HIGGINS, 2009.

5.3. Ações: Sugere-se um Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0 composto pelos itens abaixo.

5.3.1. Análise da situação atual

Consiste na análise da atual situação relacionada ao apoio da alta administração da empresa para a adoção da Qualidade 4.0.

5.3.2. Elaboração de Estratégias

Recomenda-se elaborar estratégias para aumentar o envolvimento direto da alta administração com a Qualidade 4.0, como por exemplo adoção de compromissos documentados de fomento à Qualidade 4.0, publicitando ativamente ações de apoio como feedback, abordar as preocupações e dúvidas dos colaboradores, participação em capacitações e treinamentos, entre outros.

5.3.3. Fornecimento de Recursos

Fornecer os recursos necessários como suporte de TI, treinamentos, para que possam dominar efetivamente as novas tecnologias e processos e aplicá-los em seus trabalhos.

6. F6 – Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional

6.1. Melhoria Proposta: Plano de aumento de aprendizado contínuo.

6.2. Fonte: Adaptado de BASTEN; HAAMANN, 2018.

6.3. Ações: Propõe-se um Plano de aumento de aprendizado contínuo composto pelos itens abaixo.

6.3.1. Análise da situação atual

A primeira ação se refere a verificar se o aprendizado contínuo está adequado à cultura organizacional. Com isso, o plano de aumento de aprendizado contínuo pode ser elaborado conforme os seguintes itens.

6.3.2. Modelo de resolução de problemas

Resolução sistemática de problemas por meio de métodos científicos fundamentados em dados e não em suposições para diagnosticar problemas, gerar e testar hipóteses. Para isso, sugere-se o uso de ferramentas de Gestão Operacional da Qualidade, como gráficos de controle, diagramas de causa-efeito, histogramas; folhas de checagem, gráficos de Pareto, entre outras.

6.3.3. Programa de experimentação

Busca sistemática de novos conhecimentos por meio de programas contínuos e projetos de pesquisa e desenvolvimento. Os programas contínuos visam reunir conhecimento incremental por meio de uma série contínua de pequenos experimentos, com novas ideias e incentivos para assumir riscos. Já os projetos concentram mudanças em todo o sistema para desenvolver capacidades organizacionais ou incorporar princípios que as organizações pretendem adotar de forma holística.

6.3.4. Programa de aprendizagem de experiências

Adotar uma abordagem retrospectiva para avaliar sistematicamente e aprender com as experiências passadas. As lições aprendidas precisam ser armazenadas e acessíveis abertamente aos membros da organização, considerando tanto os sucessos como os fracassos.

6.3.5. Programa de Benchmarking

Envolve a busca de melhores práticas com o objetivo de derivar recomendações com base em comparações ponderadas com outras organizações.

6.3.6. Programa de transferência de conhecimento

Busca disseminar conhecimento de modo rápido e eficientemente para toda a organização, por meio de relatórios escritos, orais e visuais, bem como cursos e treinamentos.

7. F7 – Tomada de decisão fundamentada em dados

7.1. Melhoria Proposta: Plano de tomada de decisão fundamentada em dados.

7.2. Fonte: Adaptado de GILL; BORDEN; HALLGREN, 2014; PROVOST; FAWCETT, 2013.

7.3. Ações: Recomenda-se um plano de tomada de decisão fundamentada em dados composta por:

7.3.1. Análise da situação atual

Busca-se realizar um diagnóstico para verificar se os dados estão sendo utilizados como base para a tomada de decisão.

7.3.2. Estruturação dos dados

Estruturar a infraestrutura de suporte de dados.

7.3.3. Definição dos dados

Definir os dados que serão relevantes para o tomador de decisão.

7.3.4. Cultura de uso de dados

Estabelecer uma cultura de uso de dados para a tomada de decisão de modo a garantir que os dados sejam utilizados adequadamente e não sejam arquivados e esquecidos. Um dos aspectos mais críticos é o suporte do pensamento analítico de dados. A habilidade de pensar de forma analítica de dados é importante não apenas para o cientista de dados, mas para toda a organização. Por exemplo, gerentes e funcionários de linha em outras áreas funcionais só obterão o melhor dos recursos de ciência de dados da empresa se tiverem algum entendimento básico dos princípios fundamentais.

8. F8 – Planejamento adequado dos processos

8.1. Melhoria Proposta: Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0.

8.2. Fonte: Adaptado de TRSTENJAK et. al., 2020.

8.3. Ações: Recomenda-se um Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0 composto por:

8.3.1. Análise da situação atual

Consiste na análise da atual situação para verificar se os processos são planejados adequadamente.

8.3.2. Métodos de planejamento de processos

Recomenda-se realizar um Planejamento de processos assistido por computador (CAPP) fundamentado nos resultados da análise de big data e modelos matemáticos preditivos. Esse sistema permite uma maior racionalização do processo, produtividade,

legibilidade e integração com outros softwares. De acordo com a realidade da Indústria, pode-se utilizar o Planejamento variante, o Planejamento generativo interativo, o Planejamento generativo automático ou o Planejamento híbrido. Na abordagem variante, para um único produto, são identificadas as semelhanças dos processos atuais com os produzidos anteriormente, o que implica que o novo produto pode ser produzido usando processos de fabricação semelhantes ou mesmo idênticos. Em termos de Indústria 4.0, isso requer o desenvolvimento de grandes bancos de dados, bem como algoritmos especiais de reconhecimento de recursos (métodos de classificação) para permitir o agrupamento de famílias de produtos.

Já na abordagem de planejamento generativa interativa não é necessário obter referências dos processos de produção dos produtos fabricados anteriormente. Para isso, ela requer o uso de algoritmos, lógica de decisão, fórmulas e dados baseados em geometria para executar decisões de processamento únicas, desde a matéria-prima até o estado do produto acabado. É um sistema que sintetiza as informações do processo para criar um plano de processo para um novo componente automaticamente, com pouca intervenção humana. A lógica de decisão e os sistemas avançados de suporte à decisão são partes essenciais da abordagem generativa, que pode ser estendida posteriormente, para gêmeos digitais da Indústria 4.0.

E, por fim, a abordagem híbrida consiste na combinação da variante e da generativa, na qual a peça de trabalho é associada a uma família, que é descrita pela base de dados de conhecimento que contém todas as possibilidades de fabricação do produto em questão.

9. F9 – - Implementação adequada dos processos

9.1. Melhoria Proposta: Plano de Implementação.

9.2. Fonte: Adaptado de CABANILLAS; RESINAS; CORTÉS, 2011.

9.3. Ações: Recomenda-se um Plano de implementação de Processos composto por:

9.3.1. Análise da situação atual

Diagnosticar como estão sendo implementados os processos na empresa.

9.3.2. Plano de implementação de Processos

Recomenda-se desenvolver um plano de implementação com base na matriz RACI (Responsável, Autoridade, Consultado e Informado). A matriz RACI é uma ferramenta usada para definir papéis e responsabilidades em um projeto ou processo. Ela ajuda a esclarecer quem é responsável por cada tarefa, quem deve ser consultado, informado ou tomador de decisão. Mais especificamente, o Responsável é a pessoa encarregada de executar e concluir o

processo. Já a Autoridade é a pessoa que é designada para a tomada de decisões e aprovação, a qual, em geral, possui cargo de liderança. O consultado é o indivíduo ou equipe que deve fornecer informações, ideias ou orientações para a tarefa. E, por fim, informado é a pessoa ou equipe que precisa ser informada sobre o andamento da tarefa, mas não precisa ser consultada ou ter responsabilidade pela conclusão dela.

10. F10 – - Compreensão dos processos por todos

10.1. Melhoria Proposta: Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0.

10.2. Fonte: Adaptado de NORTH; KUMTA, 2020.

10.3. Ações: Recomenda-se um Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0 composto por:

10.3.1. Análise da situação atual

Diagnosticar a situação atual das competências e conhecimentos dos colaboradores em relação à Qualidade 4.0.

10.3.2. Definição do conhecimento necessário

Determinar o conhecimento e competências necessárias para uma melhor compreensão dos processos relacionados à Qualidade 4.0.

10.3.3. Treinamentos

Realizar treinamentos para uma melhor compreensão dos processos, por meio de cursos, coaching, mentorias, e-learning, benchmarking etc.

10.3.4. Compartilhamento do conhecimento

Busca-se compartilhar o conhecimento adquirido por meio de sistemas de incentivo que promovam a troca e o aprimoramento do aprendizado.

10.3.5. Documentar e padronizar

Busca-se documentar e padronizar o processo de gestão do conhecimento da Qualidade 4.0.

11. F11 – - Descrição adequada dos processos

11.1. Melhoria Proposta: Plano de Mapeamento de Processos.

11.2. Fonte: Adaptado de AL-FEDAGHI; MOHAMAD, 2019.

11.3. Ações: Recomenda-se um Plano de Mapeamento de Processos composto por:

11.3.1. Análise da situação atual

Analisar o estado atual de como os processos são descritos na empresa, buscando compreender as configurações organizacionais, funções departamentais e inter-relações

11.3.2. Mapeamento de Processos

Após a análise de situação atual, recomenda-se um mapeamento de processos fundamentado no Mapeamento de Processos de Negócios (BPM) e Thinking Machine (TM). Busca-se uma representação esquemática de uma série de etapas que ocorrem em um determinado processo, descrevendo de forma clara as funções, responsabilidades e padrões. Neste mapeamento poderão constar os itens que são necessários para o início do processo (matérias-primas, equipamentos, informações, recursos humanos, infraestrutura), e as saídas, considerando a priorização de processos que influenciam na geração final de valor do modelo de negócio da empresa.

12. F12 – - Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual

12.1. Melhoria Proposta: Gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup.

12.2. Fonte: Adaptado de SILVA *et al.*, 2020.

12.3. Ações: Recomenda-se um Plano de gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup composto por:

12.3.1. Análise da situação atual

Analisar o estado atual de como os processos são gerenciados e se estão sendo ajustados dinamicamente de acordo com as possíveis flutuações do mercado.

12.3.2. Gerenciamento por meio do ciclo Construir-Medir-Aprender

Recomenda-se gerenciar os processos de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual por meio dos princípios Construir - Medir - Aprender do Lean Startup. Dessa forma, é possível o desenvolvimento de um produto ou serviço por meio de ciclos rápidos de validação de hipóteses de mensuração das métricas do consumidor e aprender com elas para responder melhor às necessidades do cliente e melhorar e otimizar a estratégia da empresa. Para essa fase, é importante analisar se os processos estão sendo gerenciados de acordo com a atual situação do mercado e da empresa, por meio de testes de hipóteses. Ao final do processo, pode-se dar continuidade da iniciativa ou realizar “pivotagem”, que é acompanhada de um reposicionamento estratégico. Recomenda-se sempre documentar cada ciclo do Construir - Medir - Aprender. Os principais benefícios são processos mais simplificados, Baixo custo, Aprendizado constante, Adaptabilidade e Incentivo à inovação.

13. F13 – - Gerenciamento dos processos de forma inovadora

13.1. Melhoria Proposta: Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura.

13.2. Fonte: Adaptado de HOFER *et al*, 2020.

13.3. Ações: Recomenda-se um Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura composto por:

13.3.1. Análise da situação atual

Analisar o estado atual dos processos, visando verificar se estão sendo gerenciados de modo inovador.

13.3.2. Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura

Propõe-se aplicar o gerenciamento de ciclos de inovação para sistemas de manufatura. A estrutura cíclica inicia-se na Fase de Impulso. Esta fase consiste na identificação das tendências de inovação, sendo os impulsos gerados de forma interna ou externa. Os externos são relacionados a tendências fora da organização, como novos requisitos legais, ambiente de negócios e avanços tecnológicos. Já os internos iniciam-se de iniciativas de melhorias contínuas internas.

Posteriormente, vem a fase de ideação, na qual é avaliado o potencial da tecnologia considerando o ponto de vista técnico, econômico e estratégico da empresa. Em seguida, essa fase é sucedida pela fase de conceito. Nela, são desenvolvidos métodos e protótipos para utilização desta inovação. Nesta fase, testes, prototipagem e simulação em diferentes cenários são realizados visando reduzir futuras falhas e fornecer um ambiente seguro para a inovação.

Após a ideação, é iniciada a fase da mudança. Nesta fase são executados o planejamento da integração e a implementação operacional das inovações. E, por fim, é realizada a fase de Produção em série, com a finalidade de buscar a gestão da inovação com foco na identificação de demandas tecnológicas e gargalos de processos para aprimorar o sistema fabril existente, orientada à gestão da melhoria contínua e inovação incremental do sistema de fabricação.

14. F14 – - Abordagem formalizada e estruturada de gestão

14.1. Melhoria Proposta: Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0.

14.2. Fonte: Adaptado de SAXBY; CANO-KOUROUKLIS; VIZA, 2020.

14.3. Ações: Sugere-se um Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0 composto por:

14.3.1. Análise da situação atual

Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a gestão da empresa.

14.3.2. Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0

Recomenda-se uma abordagem com elementos de suporte do Lean para a Indústria 4.0 como Melhoria Contínua, Engajamento da Cadeia de Suprimentos, Sistemas Puxados e Foco no Cliente. Assim, busca-se fluxo através da eliminação de desperdício e atividades desnecessárias fundamentado nos princípios de agregação de valor ao cliente em todas as fases produtivas, mapeamento do fluxo de valor, fluxo contínuo (sem significativas esperas), sistema de produção puxada (sem excesso de produção e estoque) e melhoria contínua dos processos.

15. F15 – - Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade

15.1. Melhoria Proposta: Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0).

15.2. Fonte: Adaptado de Souza *et al*, 2022.

15.3. Ações: Indica-se um Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0) composto por:

15.3.1. Análise da situação atual

Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a gestão da melhoria da qualidade.

15.3.2. Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0)

Recomenda-se realizar melhorias fundamentadas na TQM 4.0, considerando a integração entre tecnologia, qualidade e pessoas no cenário industrial, criando um ambiente de colaboração, integração e interconexão.

15.3.3. Indústria 4.0 e Tecnologias

Utilizar as diversas inovações em tecnologias e automação, presentes na I4.0 visando a melhoria da qualidade, focando em um modelo digital de inspeção da qualidade por variáveis. Pode-se utilizar o *big data* para uma melhor utilização das várias plataformas de análise e visualização de dados disponíveis no I4.0. Essa iniciativa pode auxiliar na descentralização da gestão da qualidade, como por exemplo a facilidade de monitoramento de indicadores de qualidade por meio de plataformas.

15.3.4. TQM

Em se tratando de TQM, o principal atributo destacado será a união das diversas técnicas e filosofias de gestão voltadas para a qualidade, que por sua vez também englobam a envolvimento das pessoas no processo. A partir do acompanhamento dos indicadores por meio de plataformas tecnológicas de visualização de dados, torna-se possível o monitoramento em tempo real.

15.3.5. Pessoas

A melhoria da qualidade deve ser inserida na cultura organizacional. A análise de dados pode ser mais bem utilizada quando combinada com percepções humanas de experiências com cenários anteriores. Além disso, a tomada de decisão final é ainda melhor aceita quando vem de um ser humano. Nesse contexto, é interessante ressaltar que as competências humanas também precisam se adequar às tecnologias I4.0.

16. F16 – - Mensuração abrangente dos processos

16.1. Melhoria Proposta: Plano de mensuração e controle dos processos.

16.2. Fonte: Adaptado de COHEN; SINGER, 2021.

16.3. Ações: Propõe-se um Plano de mensuração e controle dos processos composto por:

16.3.1. Análise da situação atual

Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a mensuração dos processos.

16.3.2. Plano de mensuração e controle dos processos

Recomenda-se a digitalização da mensuração e controle dos processos centralizado em um único controlador, permitindo o autodiagnóstico, auto prognóstico e autocorreção, por meio da aplicação de Sistema Ciber Físico nos seguintes 4 Módulos:

16.3.3. Módulo de Controle e Conscientização

Consiste na execução do controle e ajustes contínuos do processo, bem como aprendizado de máquina (ML) e controle estatístico do processo (SPC) para identificar anormalidades que requerem diagnóstico adicional.

16.3.4. Módulo de diagnóstico do processo

Refere-se a realizar análises contínuas (recorrentes) do estado e tendências do processo.

16.3.5. Módulo de Prognóstico e Recuperação

Busca-se executar o prognóstico e intervenção automatizada por meio de alterações de parâmetros, reconfigurações e manutenção automatizada.

16.3.6. Plataforma de Interação Externa

Consiste em módulo interativo para interface com especialistas, apresentando-lhes as informações de análise do processo e obtendo feedback deles como parte de um processo de aprendizagem.

17. F17 – - Análise de forma abrangente dos processos

17.1. Melhoria Proposta: Plano de Análise de Processos com base em BPM.

17.2. Fonte: Adaptado de STEINER *et al* 2019; CBOOK 2009.

17.3. Ações: Prescreve-se um Plano de Análise de Processos composto por:

17.3.1. Análise da situação atual

Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a análise dos processos.

17.3.2. Plano de Análise de Processos

Recomenda-se um plano de análise de processos para um maior entendimento das atividades e seus respectivos resultados à capacidade de atender as metas. O objetivo é identificar gargalos, desperdícios e ineficiências, bem como oportunidades de melhoria, de modo a aumentar a eficácia e a eficiência dos processos.

Assim, poderão ser analisadas a estratégia, metas e objetivos da organização, o contexto do processo frente ao ambiente de negócio, as entradas, saídas, fornecedores, clientes e demais partes envolvidas, os papéis e *handoffs* de cada área funcional no processo, as métricas de desempenho para monitoramento do processo, as oportunidades identificadas para obter uma maior eficiência e eficácia etc.

De modo mais específico, para analisar os processos, é fundamental o entendimento holístico dos processos de negócio, podendo ser realizado por benchmarking e/ou análise SWOT. Posteriormente, é importante delimitar o escopo da análise, considerando os objetivos e resultados desejados na análise. Para uma análise bem-sucedida, propõe-se envolver pessoas de diferentes áreas como gerentes, analistas e especialistas. Além disso, recomenda-se analisar os *handoffs*, pois quando menor for os pontos em um processo nos quais o trabalho ou a informação passa de uma função para outra, mais eficiente será o processo. No caso de processos automatizados, prescreve-se a análise do fluxo de dados fluem através do sistema e como esses itens interagem. Também recomenda-se analisar o custo, o tempo de ciclo, padrões existentes, causas-raiz, sensibilidade, riscos, layout, alocação de recursos, qualidade, valor e conformidade legal.

18. F18 – - Orientação do processo de forma digital visando uma sólida infraestrutura de tecnologia

18.1. Melhoria Proposta: Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ).

18.2. Fonte: Adaptado de KUMAR; SAHITHI; REVANTH, 2020.

18.3. Ações: Sugere-se a Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ) composta por:

18.3.1. Análise da situação atual

Consiste no diagnóstico da situação atual dos processos e sua relação com as tecnologias.

18.3.2. Indústria da Qualidade (IoQ)

O termo Indústria de Qualidade (IoQ) implica que a totalidade das pessoas na indústria, máquinas e outros elementos envolvidos na indústria devem ser direcionados para a obtenção de um produto de qualidade junto com a adoção de tecnologias avançadas. Na IoQ, deve haver um equilíbrio entre tecnologia e qualidade para que as indústrias possam aproveitar a adoção de novas tecnologias da Indústria 4.0, como por exemplo Internet das Coisas, Sistemas Ciber-físicos, Big Data e Gêmeos Digitais para reduzir os Custos da Qualidade.

O custo da qualidade tem um grande impacto no custo do produto e na satisfação geral do cliente. Ele pode ser dividido em custos de conformidade e custos de não-conformidade. Os custos da conformidade são recursos dispendidos na prevenção e avaliação da qualidade, como planejamento de qualidade, treinamentos, revisão de projeto, mensuração e testes dos parâmetros da qualidade, programas de melhoria da qualidade, engenharia da qualidade, auditorias, inspeção etc. Já os custos da não-conformidade são os valores gastos na identificação de peças defeituosas, retrabalhos, inatividade por problemas de qualidade, desperdícios (interno) bem como a perda de reputação perante o mercado, perda da participação no mercado, recall de produtos, reparos e substituições da garantia (externo).

19. F19 – - Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0

19.1. Melhoria Proposta: Implementação de CLQ e CLM.

19.2. Fonte: Adaptado de VYKYDAL; NENADÁL, 2022.

19.3. Ações: Sugere-se a Implementação de CLQ e CLM composta por:

19.3.1. Análise da situação atual

Consiste no diagnóstico da situação atual dos processos de Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ).

19.3.1. Integração de ciclos de feedback

O sistema de gerenciamento de qualidade de circuito fechado é uma parte do sistema de gerenciamento geral da organização com base em princípios avançados de gerenciamento de qualidade que permite integrar, por meio de fluxos de informações abrangentes, todos os processos de gerenciamento de qualidade ou dados de desempenho com o objetivo de melhorar a qualidade organizacional. Os Ciclos de feedback Horizontais operam em um único nível organizacional e suportam a execução de diferentes processos (produção, marketing, logística, etc.). Eles devem descrever como esses processos estão sob controle. Já os ciclos de feedback Verticais integram diferentes níveis hierárquicos da organização. Eles estão localizados em pelo menos dois níveis organizacionais diferentes e devem permitir a comunicação, implantação e revisão da estratégia, políticas e objetivos da organização. Esses ciclos se dividem-se em:

Ciclos de *feedback* internos: cobrem um conjunto de informações de todos os processos e indicadores de desempenho da organização. Por exemplo, pode-se obter feedbacks a partir dos resultados de auditoria interna, contexto organizacional, informações relacionadas a equipamentos de medição que foram considerados inadequados para a finalidade a que se destinam etc.

Ciclos de *feedback* externos: servem como ferramenta de comunicação entre os representantes das organizações e os stakeholders, como clientes, fornecedores, comunidade etc. Os fluxos de informação devem incorporar acima de tudo os requisitos e percepções das partes interessadas. Por exemplo, informações relacionadas à política de qualidade, Informações focadas em reclamações de clientes, Saídas do controle e monitoramento do desempenho de fornecedores, etc.

20. F20 – - Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas

20.1. Melhoria Proposta: Implementação um sistema de interoperabilidade.

20.2. Fonte: Adaptado de ZEID *et al*, 2019.

20.3. Ações: Sugere-se a Implementação um sistema de interoperabilidade composto por:

20.3.1. Análise da situação atual

Consiste no diagnóstico da situação atual da interoperabilidade entre os sistemas.

20.3.2. Sistema de Interoperabilidade

Recomenda-se um sistema fundamentado em Interoperabilidade para buscar a troca contínua de informações entre os sistemas com sintaxe e semântica compreensíveis por todos os sistemas heterogêneos envolvidos.

20.3.3. Interoperabilidade vertical

Busca-se desenvolver interoperabilidade entre dispositivos e serviços de automação de chão de fábrica. Para isso, pode-se tornar cada máquina individual interoperável com todas as outras máquinas às quais está vinculada ou integrada, comunicando-se com base em seu próprio protocolo de comunicação especificado pelo fabricante. Nesta abordagem busca-se tornar cada máquina individual interoperável com todas as outras máquinas às quais ela está vinculada ou integrada. Alcançar a interoperabilidade nesse cenário requer uma compreensão completa de sua semântica exclusiva, juntamente com a tradução de sua sintaxe devido ao protocolo de comunicação específico de cada máquina.

20.3.4. Interoperabilidade horizontal

Consiste em desenvolver interoperabilidade entre empresas e plataformas de serviços em nuvem, facilitando as operações descentralizadas e a tomada de decisões, por meio de operações e recursos virtualizados em plataformas de nuvem como serviços baseados em nuvem suportados pela IoT, computação em nuvem e sistemas ciber-físicos. Para isso, pode-se utilizar o *Interoperable Cloud-based Manufacturing System (ICMS)*, composto pelas camadas de recursos de manufatura, de serviço virtual, de serviço global e de aplicação. A camada de recursos de manufatura combina os sistemas de manufatura atuais em partes que podem ser utilizados pelo usuário incorporando a linguagem de controle de máquina-ferramenta STEP-NC. A camada de serviço virtual mantém registros dos serviços que estão sendo solicitados, garantindo segurança e privacidade. Já a camada de serviço global garante que a empresa tenha controle sobre os serviços e fornece meios para realizar análises no diagnóstico do serviço oferecido. E, por fim, a camada de aplicação fornece uma interface para o ICMS que o usuário ou assinante pode acessar com base nas permissões concedidas.

21. F21 – Elaboração de produtos customizados por meio de Softwares de automação industrial

21.1. Melhoria Proposta: Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados.

21.2. Fonte: Adaptado de WAN *et al* 2020 e DUTTA *et al*, 2020.

21.3. Ações: Propõe-se Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados composto por:

21.3.1. Análise da situação atual

Consiste no diagnóstico da situação atual dos softwares para a elaboração de produtos customizados.

21.3.2. Plano de Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados

Consiste no plano de Software para elaboração de produtos customizados visando a interconexão por meio da implementação de equipamentos de inspeção, calibração e rastreabilidade adequados à IoT visando sistemas de qualidade flexíveis e adaptáveis à dinâmica do mercado. Também se busca a fabricação rápida de uma variedade de produtos em pequenos lotes. Como os tipos de produto podem mudar dinamicamente, os softwares precisam se ajustar com agilidade às diversas alterações possíveis. Os softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados devem ter dispositivos interconectados com dados em tempo real dos parâmetros do processo produtivo, processando-os por meio de computação em nuvem. O processamento desses dados, controle e operações podem ser realizados simultaneamente nos sistemas ciberfísicos (CPSs), realizando assim a integração dos ambientes físicos e digitais.

Mais especificamente, recomenda-se aplicar Redes Definidas por Software (SDN). As SDN são um componente fundamental para a fabricação customizada. Ela pode ser constituída de estações base, pontos de acesso, gateways de rede, switches de rede, roteadores de rede e terminais dos quais estão interconectados entre si e podem ser apoiados por computação de borda ou nuvem. Os dispositivos de fabricação são conectados por seus módulos de comunicação e são mapeados para diferentes nós em terminais da rede. Primeiramente, os nós coordenados são vinculados aos nós comuns e entregam mensagens de controle de rede de outros dispositivos SDN. Posteriormente, os roteadores SDN são os principais dispositivos que realizam a separação do fluxo de dados e o fluxo de controle de toda a rede de fabricação. Além disso, o controlador pode ser conectado diretamente ao servidor de Inteligência Artificial, fornecendo decisões de rede diretamente ao controlador. No processo de informações de rede, algoritmos de IA, como redes neurais profundas, aprendizado por reforço, SVM e outros algoritmos de ML, podem ser executados em um servidor de acordo com o estado dos dispositivos de rede, como informações de carga, taxa de comunicação, intensidade do sinal recebido indicador e outros dados. Em seguida, o servidor retorna os resultados otimizados para o controlador, e os resultados são divididos em diferentes instruções para diferentes dispositivos de rede, de acordo com a customização desejada. Em seguida, os controladores SDN enviam um conjunto de instruções aos roteadores e aos nós de coordenação. E, finalmente, os terminais de rede reajustam os parâmetros relacionados (por exemplo, largura de banda de comunicação, potências transmitidas) para concluir o processo de comunicação de dados.

22. F22 – Integração dos processos de gestão da qualidade a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída

22.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico.

22.2. Fonte: Adaptado de BOUZON et. al., (2016) e PALADINI, 2019.

22.3. Ações: Indica-se Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico composto por:

22.3.1. Análise da situação atual

Primeiramente, é importante analisar a situação atual dos processos de gestão da qualidade e seu nível de integração a outros processos da organização.

22.3.2. Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico

Recomenda-se um plano de integração considerando os seguintes 3 ambientes de atuação da gestão da qualidade propostos por Paladini (2019): (1) Operacional (2) Tático (3) Estratégico e seus respectivos indicadores de avaliação da qualidade *in-line*, *off-line* e *on-line*.

22.3.3. Ambiente Operacional

Com indicadores *in-line* está relacionado aos processos produtivos na linha de produção, no qual a qualidade está corresponde ao atendimento às especificações, à capacidade de produção, à otimização de processos, à ausência de defeitos, à produtividade e às estratégias operacionais da empresa.

22.3.4. Ambiente Tático

Já o ambiente (2) Tático com indicadores *off-line* consiste nas ações de suporte ao ambiente operacional, como por exemplo os procedimentos de manutenção, o Planejamento e Controle de Produção (PCP), os modelos gerenciais, as ações de recrutamento, seleção e capacitação de colaboradores, as práticas de segurança do trabalho, os programas de marketing, dentre outros conjuntos de atividades que apoiam indiretamente a produção.

22.3.5. Ambiente Estratégico

E, por fim, o ambiente (3) Estratégico com indicadores *on-line* está associado ao relacionamento da empresa com o mercado, ao percebimento e compreensão das necessidades dos clientes e consumidores bem como à capacidade de reação frente às possíveis mudanças que venham a ocorrer no mercado. Neste ambiente, é fundamental que a organização perceba o mais rápido possível estas mudanças na demanda, como por exemplo novos hábitos dos consumidores, para então adequar os processos produtivos de modo a atender a essa nova realidade. Para essa melhoria, considerar também as características do ambiente competitivo como a complexidade dos produtos oferecidos e o ambiente regulatório.

22.3.5. Logística Reversa

Além disso, sugere-se aplicar a integração dos processos de gestão da qualidade também aos sistemas de Logística Reversa. A pesquisa elaborada por BOUZON *et al.*, (2016), conclui que para reduzir a incerteza relacionada a questões econômicas na Logística Reversa, os gestores devem envolver clientes e clientes no processo, de forma a trazer estabilidade por meio do compartilhamento de informações e responsabilidades. Ao lidar com a questão da previsão limitada e trazer mais estabilidade à Logística Reversa, os benefícios econômicos das atividades de recuperação podem se tornar mais evidentes para as empresas.

23. F23 – Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.

23.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração Horizontal.

23.2. Fonte: Adaptado de PÉREZ-LARA *et al.*, 2020.

23.3. Ações: Recomenda-se Plano de Integração Horizontal composto por:

22.3.1. Análise da situação atual

Deve-se analisar a situação atual relativo às tecnologias da Qualidade 4.0 e seu compartilhamento de informações e dados entre os diferentes sistemas e equipamentos que apoiam o processo produtivo.

22.3.2. Plano de Integração Horizontal

Recomenda-se um Plano de Integração Horizontal fundamentado no modelo de Stevens, que identifica os aspectos de um sistema de manufatura a serem direcionados para o planejamento estratégico por meio de técnicas padronizadas e um cenário ágil como meta operacional. Com isso, as melhorias são fundamentadas na análise da situação atual e no estudo do ambiente, para onde são direcionados e quais estratégias devem ser consideradas, sendo essencial desenvolvimento de um modelo conceitual de integração, que descreva as atividades de controle na gestão das operações de manufatura e no nível da empresa, com uma representação do sistema físico e uma interface explícita para a análise.

Sugere-se aplicar o Modelo de Stevens para visualizar o desempenho da empresa na cadeia de suprimentos. Essa abordagem define o nível de integração das organizações, bem como o nível de absorção tecnológica. Desta forma é possível entender o funcionamento da cadeia de valor em termos de como o valor do cliente é criado; sendo representado de forma concisa por meio de um conjunto inter-relacionado de elementos: o cliente, a proposta de valor, a arquitetura organizacional e as dimensões econômicas.

24. F24 – - Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção

24.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração vertical.

24.2. Fonte: Adaptado de PÉREZ-LARA *et al.*, 2020.

24.3. Ações: Recomenda-se Plano de Integração vertical composto por:

24.3.1. Análise da situação atual

Deve-se analisar a situação atual relativo às tecnologias da Qualidade 4.0 tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção.

24.3.2. Plano de Integração Vertical

Recomenda-se a integração entre os elementos cruciais envolvidos na criação, desenvolvimento e fabricação do produto bem como sua administração. Pode-se utilizar a abordagem de Sistema sociotécnico ou os Sistemas de módulos de criação de Valor. O Sistema sociotécnico é composto por três elementos principais: sistema tecnológico, sistema organizacional e sistema operacional humano com o objetivo de otimizar a interação entre esses elementos para melhorar a produtividade, a qualidade e a satisfação dos funcionários.

Já os Módulos de criação de valor são compostos pelo sistema operacional humano, o qual confere importância ao capital humano como elemento crítico de mudança e está diretamente envolvido no progresso da empresa, o Sistema organizacional, relacionado à sequência de operações entre os níveis hierárquicos da empresa, delegação de responsabilidades, etc. Sistema tecnológico, que inclui todos os elementos disponíveis em tecnologia para realizar as atividades do processo de produção, o Produto/Serviço, que aborda suas especificações e os Processos, que são as atividades que estão relacionadas ao desenvolvimento do produto/serviço.

1. T1 - Códigos QR e RFID e Sensores

1.1. Melhoria Proposta: Implementação de Códigos QR e RFID e Sensores.

1.2. Fonte: Adaptado de TRIPATHI, DWIVEDI, 2021.

1.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Códigos QR e RFID e Sensores composto por:

1.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Códigos QR e RFID.

1.3.2. Implementação de Códigos QR e RFID

Os códigos QR (*Quick Response*) e RFID (*Radio Frequency Identification*) são tecnologias que podem ser utilizadas para rastrear e identificar produtos, equipamentos e materiais em uma variedade de processos, desde o controle de estoque até o monitoramento da produção e logística. Os códigos QR, em geral, são mais economicamente viáveis do que os RFID. A principal vantagem de um RFID é sua possibilidade de reutilização e o conteúdo pode ser alterado quantas vezes for necessário, o que não é possível com um código de barras ou QR Code. As etiquetas RFID também são mais duráveis do que códigos de barras e códigos QR pois, mesmo que estejam danificadas, as informações nelas inscritas podem ser lidas. A distância de leitura dos códigos QR geralmente é menor do que os RFID, que podem ser a uma distância de vários metros.

2. T2 – Computação em Nuvem

2.1. Melhoria Proposta: Implementação de Computação em Nuvem.

2.2. Fonte: Adaptado de QI; TAO, 2019.

2.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação Computação em Nuvem composto por:

2.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Computação em Nuvem nos processos produtivos.

2.3.2. Implementação da Computação em Nuvem

A computação em nuvem permite o acesso à rede onipresente, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis, incluindo IaaS (Infraestrutura como serviço), PaaS (Plataforma como serviço) e SaaS (Software como serviço). A computação em nuvem apresenta diversas vantagens, como a redução de custos de infraestrutura de TI, maior flexibilidade e escalabilidade para atender às demandas de negócios em constante mudança, melhor colaboração entre as equipes e acesso remoto aos processos produtivos, sendo fundamental garantir a segurança e a privacidade das informações utilizadas.

Mais especificamente, propõe-se um sistema de computação em nuvem integrado com a computação em névoa. Os componentes como roteadores de rede, servidores regionais, comutadores de rede de borda ou núcleo e sistemas de gerenciamento de classe podem ser usados como infraestruturas para computação em névoa. Essas infraestruturas podem fornecer diferentes funções de computação, armazenamento e rede. Por meio da computação em névoa, vários aplicativos e serviços implantados nessa camada podem conectar a diversos

equipamentos e sensores inteligentes bem como integrar os dados. Essa solução pode ser aplicada no gerenciamento de estoque e otimização de processos. No que diz respeito à gestão de estoques, podem ser registrados o volume e o lote de material consumido nas atividades fabris, bem como os diferentes tipos e quantidades de produtos acabados. Como resultado, os gestores podem ser capazes de acompanhar as mudanças de estoque de materiais e produtos e tomar melhores decisões. Também pode-se otimizar os processos por meio da análise dos dados históricos do processo e a correlação entre diferentes parâmetros na qualidade.

3. T3 – Big Data e T7– Ciência de Dados

3.1. Melhoria Proposta: Implementação de Ciência de dados para Manutenção Preditiva.

3.2. Fonte: Adaptado de WANG, *et al*, 2022, ESCOBAR; MCGOVERN; MENENDEZ, 2021; SAJID, *et al.*, 2021.

3.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva composta por:

3.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva nos processos produtivos.

3.3.2. Implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva

Recomenda-se a Implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva composta pelas fases de coleta, preparação, análise exploratória, modelagem, apresentação e automação. Na fase de coleta, os dados brutos são gerados dentro de máquinas, câmeras de vigilância, Internet das coisas (IoT), dispositivos de interface homem-máquina, dados na nuvem, sensores inteligentes, registros de manutenção e dados cibernéticos. Esses dados podem ser analisados para tomar decisões em tempo real e obter ideias.

Em seguida, depois de coletar dados brutos, é essencial convertê-los de maneira estruturada para posterior análise. Os dados podem ser preparados de forma estruturada, não estruturada e semiestruturada. Os dados estruturados são formatados de maneira organizada sendo fácil de acessar, armazenar e processar, podendo ser gerados por máquinas com sensores e planilhas. Já os dados não estruturados, não estão organizados em nenhum formato pré-definido, tendo irregularidades e desorganização. Estes dados podem ser gerados por meio de imagens, áudio, sensores IoT etc. Os dados semiestruturados são um híbrido de dados estruturados e não estruturados.

Posteriormente à coleta e à preparação, sugere-se a análise exploratória de dados, que ajuda a nos familiarizar com todos os dados e reduzir a carga de trabalho durante a análise por

meio do uso de testes estatísticos, busca-se descobrir possíveis tendências, como tendência central (média, moda, mediana), dispersão (desvio padrão e variância), formas de distribuição e detecção de erros. Com os dados já analisados, pode-se iniciar a modelagem com a finalidade de obter a manutenção preditiva, como a previsão de vida útil restante ou quando a máquina falhará ou reduzirá o desempenho. A execução do aprendizado de máquina inclui a criação de um modelo, a preparação de alguns dados de treinamento e o manuseio de informações extras para fazer previsões. E, finalmente, após a obtenção dos resultados dos modelos de algoritmos, os dados são apresentados e aplicados para tomar melhores decisões e estratégias. Especialistas com experiência no setor podem examinar os padrões e resultados, para sugerir a melhorias nos procedimentos de operação, manutenção, monitoramento, teste e auditoria e assim garantir ações mais seguras e eficazes.

4. T6– Inteligência Artificial, T4 – Aprendizado de Máquina, T5 – Aprendizado Profundo

4.1. Melhoria Proposta: Implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade.

4.2. Fonte: Adaptado de NTI *et al.*, 2022; BERTOLINI, *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2020.

4.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade composto por:

4.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Inteligência Artificial nos processos produtivos. A Inteligência Artificial pode ser aplicada em diversas funções na indústria de manufatura, como por exemplo diagnóstico de falhas, monitoramento de fabricação, custo e consumo de energia, manutenção preditiva, fabricação de semicondutores e circuitos integrados, tendências do mercado, comportamento do cliente etc.

4.3.2. Implementação de *Machine Learning*

Machine Learning (ML) é um ramo da inteligência artificial que estuda algoritmos capazes de aprender de forma autônoma, diretamente dos dados de entrada. Essa tecnologia pode ser utilizada na gestão da qualidade para o controle da qualidade de forma online, para a detecção e classificação de defeitos, para o reconhecimento de imagens para análise da qualidade do produto e para a gestão do ciclo de vida. Mais especificamente, pode-se utilizar o aprendizado de máquina para modelar e prever comportamentos dos materiais e sua qualidade por meio de algoritmos fundamentados em Árvore de Decisão (DT), Redes Neurais (RN), Regressão por Vetores de Suporte (SVR), *Deep Belief Network* (DBN), Floresta

aleatória (*Random forest*), Modelos de Mistura Gaussiana, Estimativa de Densidade da Janela de Parzen entre outros.

Recomenda-se utilizar o *Machine Learning* para aplicações iguais ou semelhantes aos casos bem-sucedidos, como prever a espessura das camadas dielétricas depositadas durante a fabricação de semicondutores do tipo wafers, analisar padrões de ruído e assim detectar rolamentos defeituosos em eletrodomésticos, detecção de anomalias em motores de máquinas pesadas, baseado em dados de fabricação, inspeção e pós-venda etc.

4.3.3. Implementação de Aprendizado Profundo

A detecção de defeitos do produto é essencial no controle de qualidade na fabricação. Para isso pode-se utilizar a Rede neural convolucional (Convolutional neural network - CNN), Autocodificador (Autoencoder neural network), rede neural residual (residual neural network), Fully Convolutional Network (FCN) e rede neural recorrente (Recurrent neural network).

A Rede neural convolucional possui como vantagem uma forte capacidade de aprendizado para dados de entrada de alta dimensão, no entanto, os complexos cálculos exigirão alta capacidade de processamento.

O Autocodificador apresenta como benefício uma boa capacidade de representação de informações de objetos, todavia é necessário que as dimensões de dados de entrada e saída da máquina do codificador automático sejam consistentes.

A rede neural residual dispõe a vantagem de possuir menor perda de convergência e não sofrer sobreajuste (overfitting), por isso tem melhor desempenho de classificação. Contudo, a rede deve cooperar com maior profundidade para aproveitar ao máximo suas vantagens estruturais.

A Fully Convolutional Network pode analisar imagem de qualquer tamanho para obter a matriz de conhecimento prévio semântico de alto nível, que tem um bom efeito na detecção de objetos de nível semântico. Porém, para isso, a transformação da matriz de recursos combinada com os recursos subjacentes é necessária, deixando a velocidade de convergência do modelo lenta.

A Rede Neural Recorrente pode ser utilizada quando há menos dados de amostra, sendo capaz de aprender os recursos essenciais dos dados e reduzir a perda de informações no processo de agrupamento. Mas, com o aumento do número de iterações no processo de treinamento da rede, o modelo de rede neural recorrente pode apresentar fenômeno de sobreajuste (overfitting).

8. T8 – BlockChain

8.1. Melhoria Proposta: Implementação de BlockChain.

8.2. Fonte: Adaptado de KHANFAR, *et al.*, 2021.

8.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de BlockChain composto por:

8.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de BlockChain na cadeia de suprimentos.

8.3.2. Implementação de Blockchain

O blockchain, também conhecido como protocolo da confiança, é uma tecnologia de registro distribuído que visa a descentralização como medida de segurança. Ela agrupa um conjunto de informações que se conectam por meio de criptografia, fazendo com que as transações financeiras e outras operações sejam realizadas de forma segura. Mais especificamente, essa tecnologia pode ser aplicada na Indústria 4.0 em diversos processos, principalmente na cadeia de suprimentos.

O gerenciamento de informações na cadeia de suprimentos é desafiador, pois dados confiáveis e em tempo real são necessários para evitar baixo desempenho, fraudes e riscos. Para isso, pode-se utilizar Blockchain nos sistemas visando melhor verificabilidade e compartilhamento de informações. Essa tecnologia possibilita conectar as partes interessadas da cadeia de suprimentos usando uma estrutura de dados distribuída onde os dados são compartilhados em uma rede ponto a ponto, por meio de protocolos pré-definidos nos quais os dados são comunicados e validados. A estrutura descentralizada do BlockChain e protegida por meio de criptografia avançada, suporta a verificação de transações diretamente entre as partes interessadas e elimina a necessidade de intermediários para a verificação das transações, permitindo que as empresas envolvidas na rede da cadeia de suprimentos compartilhem, acessem e verifiquem informações com segurança.

Com isso, o Blockchain pode melhorar significativamente as práticas de gestão e garantia da qualidade pois viabiliza que as partes interessadas acessem informações relacionadas a matérias-primas, produtos, fornecedores, varejistas, manufatura e atividades da cadeia de suprimentos e assim verifiquem a qualidade dos produtos e garantam que os produtos estejam em conformidade com os padrões de garantia da qualidade e com os requisitos legais.

9. T9– Manufatura Aditiva

9.1. Melhoria Proposta: Implementação de Manufatura Aditiva.

9.2. Fonte: Adaptado de JIMÉNEZ, *et al.* 2019; KAFLE, *et al.*, 2021.

9.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Manufatura Aditiva composto por:

9.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Manufatura Aditiva nos processos produtivos.

9.3.2. Implementação da Manufatura Aditiva

A implementação da manufatura aditiva permite que seja realizado um design de produto mais criativo e customizado pelo modelo de manufatura impulsionada pela demanda do mercado, no qual o consumidor possui um papel de design e personalizador. As técnicas de fabricação aditiva fornecem diversas vantagens competitivas pois se adaptam muito bem à complexidade geométrica e à personalização do design da peça a ser fabricada.

A manufatura aditiva, em casos de polímeros, pode ser realizada por Modelagem por Deposição Fundida (Fused Deposition Modelling - FDM), Sinterização a laser seletiva (Selective Laser Sintering - SLS) e Estereolitografia (Stereolithography). As vantagens da Modelagem por Deposição Fundida, (processo de extrusão) são menor tempo de impressão e baixo custo. Já as desvantagens são que a tecnologia não permite um acabamento superficial bom. No que se refere a Sinterização a laser seletiva, essa tecnologia possibilita maiores opções de design e a ausência de necessidade de estruturas de suporte, porém ela possui alto tempo de impressão além do acabamento formar superfície áspera. Já a Estereolitografia assegura peças de com alta resolução e precisão, entretanto essa tecnologia possui elevado custo de manutenção e operação.

10. T10– Realidade Aumentada

10.1. Melhoria Proposta: Implementação de Realidade Aumentada.

10.2. Fonte: Adaptado de DEVAGIRI, *et al.* 2022.

10.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Realidade Aumentada composto por:

10.3.1. Análise da situação atual

Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de realidade aumentada nos processos produtivos.

10.3.2. Implementação de Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (AR) é uma representação aumentada da realidade formada pela sobreposição de informações digitais em uma imagem de objetos vistos por meio de um

dispositivo. Na indústria de manufatura, a Realidade Aumentada pode ser aplicada em diversos contextos. Na montagem, a AR facilita a personalização dos produtos por meio da manipulação de objetos virtuais nos processos de montagem de acordo com as expectativas dos clientes. Além disso, no projeto e desenvolvimento de produtos, pode ser empregada para visualizar e simular diferentes cenários, permitindo que os designers possam fazer ajustes e melhorias antes do produto ser fabricado. Também pode ser utilizada para simular situações complexas de treinamento em ambiente controlado e seguro. Por exemplo: processos de treinamento para a operação de equipamentos, a manutenção preventiva, e a reparação de falhas. Na inspeção da qualidade, a AR pode ser utilizada para inspecionar produtos e detectar falhas, permitindo que os trabalhadores identifiquem problemas com maior precisão e rapidez.

4.6 PROPOSIÇÃO DE MODELO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0

Em atendimento ao Objetivo específico 3, neste capítulo é proposto um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0.

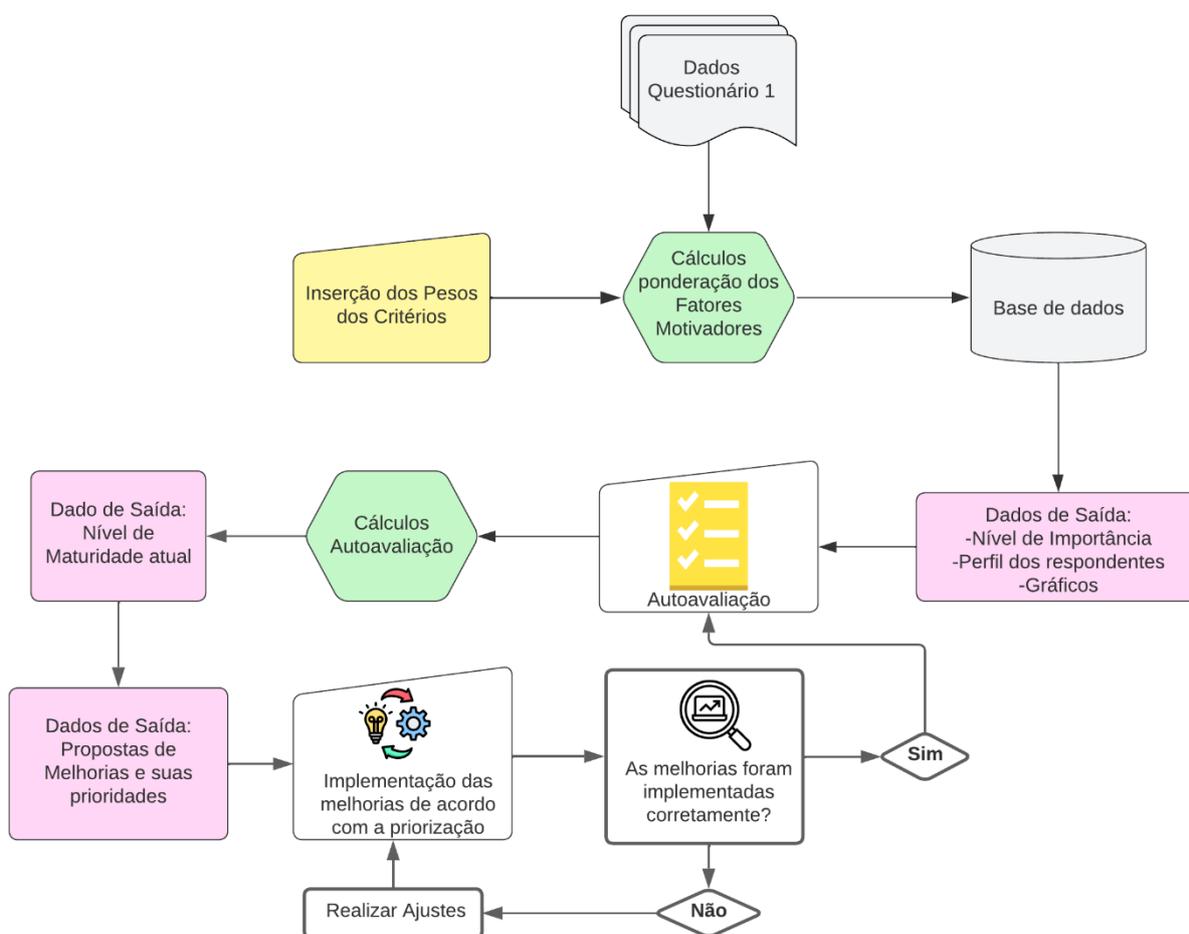
O modelo é composto por uma planilha automatizada em Excel (Apêndice C), que utiliza os dados do Questionário A (Apêndice A), os pesos dos critérios estipulados no método, os fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 e as melhorias para realizar um diagnóstico do atual nível de maturidade da indústria e propor melhorias priorizadas de modo que se busque um aumento do nível de maturidade da Qualidade 4.0 pela empresa.

Primeiramente, o modelo calcula e pondera os fatores-chave de acordo com o nível de importância obtido com os dados de entrada do Questionário A (Apêndice A) e da ponderação dos critérios dos respondentes, conforme descrito no método. Posteriormente, isso, gera uma base de dados de saída correspondente ao nível de importância, perfil dos respondentes e gráficos.

Em seguida, o modelo gera o nível atual de maturidade de cada fator-chave e dimensão e as melhorias priorizadas, após o preenchimento da autoavaliação.

Para melhor visualização, a Figura 14 apresenta uma visão esquemática do modelo proposto (Apêndice C).

Figura 14 – Fluxograma do Modelo Desenvolvido



Elaborado pelo autor

Cabe destacar que, como os dados de entrada são os pesos dos critérios e as notas obtidas pelos especialistas, este modelo é customizável a diferentes pesos, critérios e especialistas, podendo ser replicado em diferentes contextos, como especialistas específicos de um determinado setor ou região.

A seguir, é apresentado o roteiro de implementação.

4.7 ROTEIRO DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro passo para a implementação do modelo consiste na empresa preencher a Autoavaliação, presente na Aba 1 da planilha em Excel (Apêndice C), e assinalar com um X sua atual situação em relação a cada fator-chave (motivador).

A Figura 15 apresenta um exemplo de preenchimento da autoavaliação presente na Aba 1 (1. Autoavaliação) do modelo para a primeira pergunta.

Figura 15 – Exemplo de preenchimento da Autoavaliação presente na Aba 1

9	Dimensão Cultural		
10	Marque com um X	1) Como é o engajamento dos colaboradores nos processos?	
11			
12		x	a) Não há engajamento dos colaboradores nos processos. Os colaboradores
13			b) Há baixo engajamento nos processos. Os colaboradores gostam do trab
14			c) Há engajamento dos colaboradores nos processos, com senso de perten
15			d) Há alto engajamento dos colaboradores nos processos, com internalizaç
16			e) Há elevado engajamento dos colaboradores nos processos. Com alto se
 1. Autoavaliação 2. Cálculos autoavaliação 3. Gráficos Autoavaliação 4. Melhorias Propostas			

Fonte: O Autor.

Este preenchimento deve ser realizado para as 34 perguntas presentes na Autoavaliação.

No segundo passo da implementação do modelo, a empresa irá observar, na Aba 2 (2. Cálculos autoavaliação) da planilha em Excel do Apêndice C, o seu atual nível de maturidade relacionado a cada fator-chave, cada dimensão e geral, bem como os níveis de prioridade de melhorias. A Figura 16 apresenta um exemplo de visualização da Aba 2.

Figura 16 – Exemplo de visualização da Aba 2 (2. Cálculos autoavaliação)

Fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0		Nível de Maturidade atual					Nível de Maturidade Atual	Nível de Importância no Contexto Brasileiro	Nível de prioridade	
		Não se aplica	1	2	3	4				5
F1	Engajamento dos colaboradores nos processos		0	0	0	x	0	4	5,00	5
F2	Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade		0	0	0	x	0	4	5,00	5
F3	Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados		0	0	x	0	0	3	4,00	4
F4	A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0		0	0	0	x	0	4	5,00	5
F5	Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0		0	0	0	0	x	5	5,00	5
F6	Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional		0	0	0	0	x	5	5,00	5
ND1	Nível de Maturidade da Dimensão Cultural		3,0							


2. Cálculos autoavaliação | 3. Gráficos Autoavaliação | 4. Melhorias Propostas

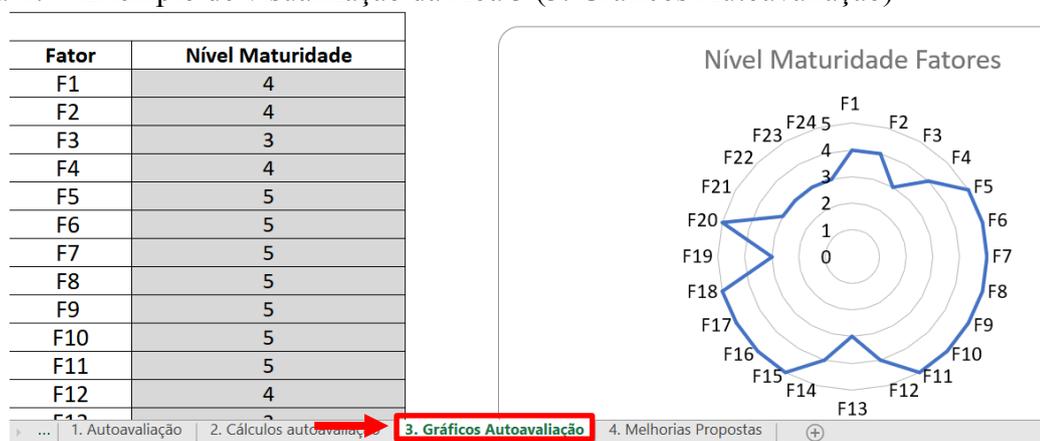
Fonte: O Autor.

Nesta Aba, a empresa respondente irá observar o seu nível de maturidade atual para cada fator-chave e dimensão, bem como o nível de importância e priorização considerando o contexto brasileiro.

Nesta autoavaliação, o modelo considera que a opção (a) corresponde a um nível de maturidade 1, a opção (b) a um nível de maturidade 2, a opção (c) a um nível de maturidade 3, a opção (d) a um nível de maturidade 4 e a opção (e) a um nível de maturidade 5. Já para o nível de maturidade por dimensão, o modelo seleciona o menor valor dentre seus respectivos fatores-chave e tecnologias, gerando assim um nível de maturidade por dimensão.

Para melhor visualização dos resultados obtidos na Aba 2, na Aba 3, são apresentados os gráficos dos níveis de maturidade atual da empresa e das dimensões. A Figura 17 apresenta um exemplo de visualização da Aba 3 (3. Gráficos Autoavaliação).

Figura 17 – Exemplo de visualização da Aba 3 (3. Gráficos Autoavaliação)



Fonte: O Autor.

Posteriormente, o terceiro passo do roteiro de implementação consiste na empresa observar as melhorias propostas na Aba 4 e implementá-las seguindo a ordem de priorização sugerida. A Figura 18 apresenta o exemplo de visualização da Aba 4 (4. Melhorias Propostas).

Figura 18 – Exemplo de visualização da Aba 4 (4. Melhorias Propostas)

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	
Engajamento dos colaboradores nos processos	F1	5	1	Estruturar e Implementar
			2	Padronizar
			3	Gerenciar Quantitativamente
			4	Otimizados continuamente por meio de mell
			5	Manter

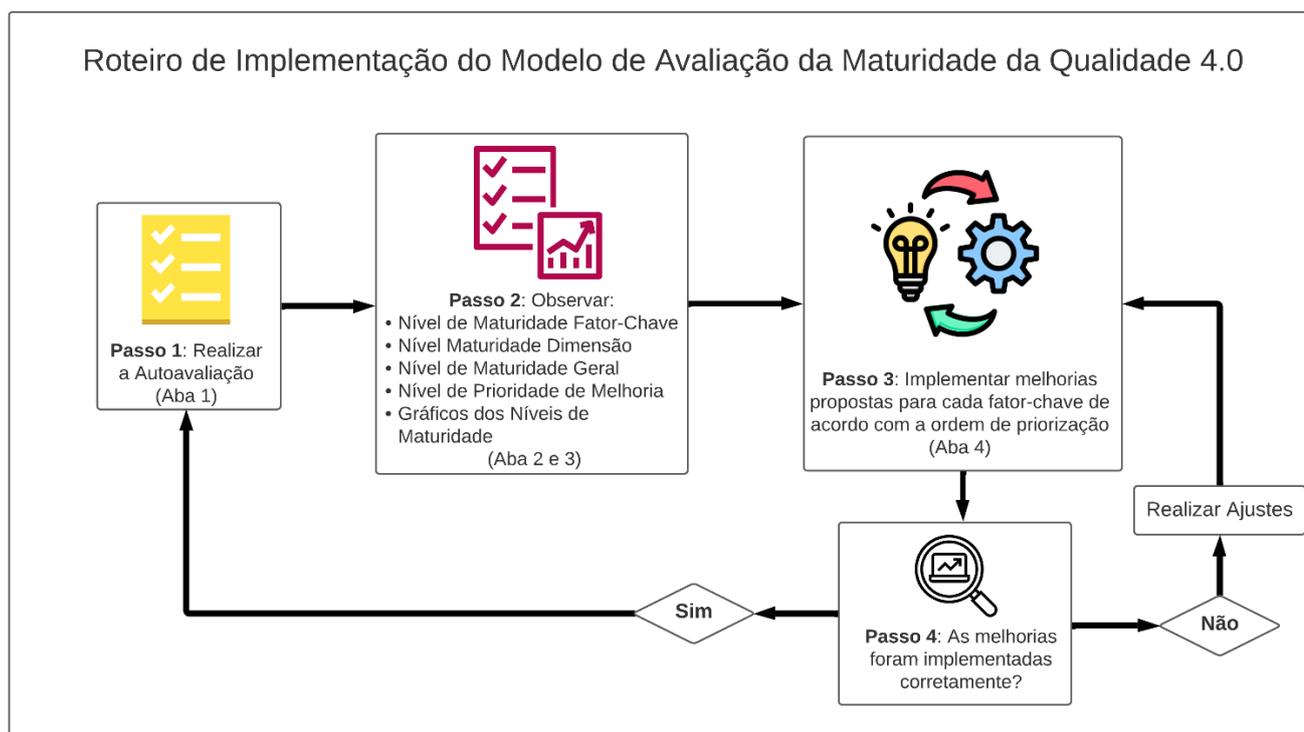
1. Autoavaliação | 2. Cálculos autoavaliação | 3. Gráficos Autoavaliação | **4. Melhorias Propostas**

Fonte: O Autor.

Em seguida, no Passo 4, a empresa verificará se as melhorias foram implementadas corretamente e se atingiram os resultados esperados. Caso positivo, a empresa irá voltar para o passo 1 e realizar o ciclo novamente, até que se obtenha o nível máximo de maturidade (nível 5) em todos os fatores-chave e tecnologias.

A Figura 19 apresenta o roteiro de implementação do Modelo de Avaliação da Maturidade da Qualidade 4.0 sob ponto de vista do usuário.

Figura 19 – Roteiro de Implementação do Modelo



Fonte: O Autor.

A seguir, é apresentando o estudo de caso, juntamente com os resultados do nível de maturidade da empresa estudada e com os comentários realizados pela empresa sobre o modelo proposto.

4.8 ESTUDO DE CASO

Em atendimento ao objetivo específico 4, o modelo proposto foi analisado e aplicado em uma empresa de manufatura brasileira de equipamentos elétricos por meio de entrevista presencial. Nesta entrevista, os fatores-chave, tecnologias e a priorização das melhorias foram analisadas, bem como foi aplicado o questionário de diagnóstico do atual nível de maturidade da Qualidade 4.0 na empresa, Aba 1 da Planilha em Excel do Apêndice C. No próximo item é apresentado o resultado do nível de maturidade da Qualidade 4.0 da empresa estudada.

4.8.1 Resultado do nível de maturidade da empresa estudada

O Quadro 10 apresenta o nível de maturidade de cada fator-chave de maturidade da Qualidade 4.0 da empresa estudada.

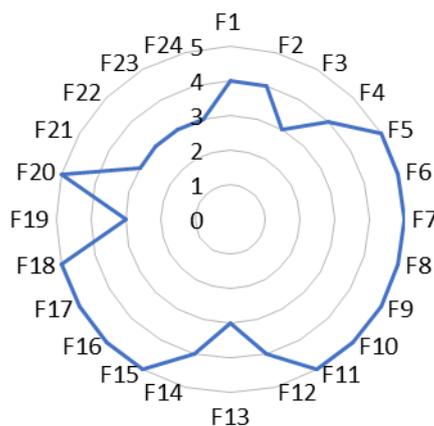
Quadro 10 – Nível de Maturidade dos Fatores-chave da empresa estudada

Fator	Nível Maturidade
F1	4
F2	4
F3	3
F4	4
F5	5
F6	5
F7	5
F8	5
F9	5
F10	5
F11	5
F12	4
F13	3
F14	4
F15	5
F16	5
F17	5
F18	5
F19	3
F20	5
F21	3
F22	3
F23	3
F24	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 apresenta o gráfico do nível de maturidade dos fatores-chave da empresa estudada.

Figura 20 – Gráfico do Nível de Maturidade dos Fatores-chave da empresa estudada
Nível Maturidade Fatores-chave



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que os fatores com menores níveis de maturidade da Qualidade 4.0 foram os F3, F13, F19, F21, F22, F23 e F4, os quais apresentaram nível 3. Além disso, destaca-se que, a empresa estudada possui 50% dos fatores com nível máximo de maturidade, ou seja, Nível 5.

O Quadro 11 apresenta o nível de maturidade das Tecnologias da Qualidade 4.0 na empresa estudada.

Quadro 11 - Nível de Maturidade das Tecnologias da Qualidade 4.0 na empresa estudada

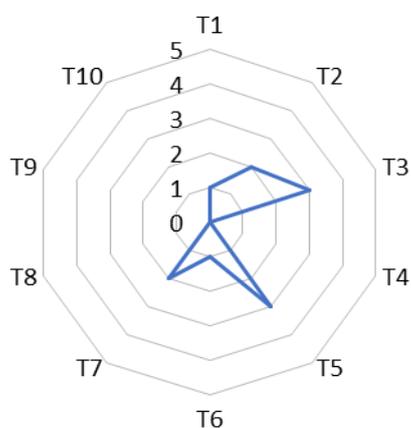
Tecnologias	Nível Maturidade
T1	1
T2	2
T3	3
T4	Não utiliza
T5	3
T6	1
T7	2
T8	Não utiliza
T9	Não utiliza
T10	Não utiliza

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 21 apresenta o gráfico do nível de maturidade dos fatores-chave da empresa estudada.

Figura 21 - Gráfico do Nível de Maturidade das Tecnologias da Qualidade 4.0 na empresa estudada

Nível Maturidade Tecnologias



Elaborado pelo autor.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que o nível máximo da utilização das tecnologias da Qualidade 4.0 pela empresa estudada foi 3, correspondendo à T3- Big Data e T5 – Aprendizado Profundo. Além disso, a empresa não utiliza a T4 – Aprendizado de Máquina, T8 -Blockchain, T9 – Manufatura Aditiva e T10 – Realidade Aumentada.

O Quadro 12 apresenta o nível de maturidade dos fatores-chave da empresa estudada.

Quadro 12 – Nível de Maturidade por dimensão e geral

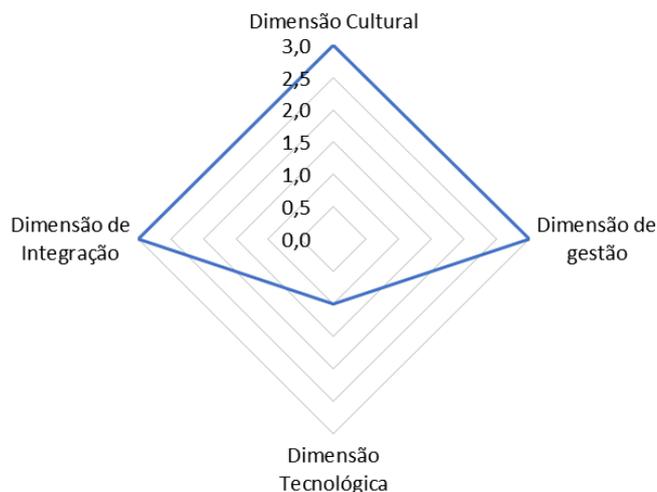
Nível Maturidade Dimensões	
3,0	Dimensão Cultural
3,0	Dimensão de gestão
1,0	Dimensão Tecnológica
3,0	Dimensão de Integração

Nível Maturidade Geral	
2,5	Maturidade Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 22 apresenta o gráfico do nível de maturidade dos fatores-chave da empresa estudada.

Figura 22 - Gráfico do Nível de Maturidade das Dimensões da Qualidade 4.0 na empresa estudada



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a dimensão cultural, de integração e de gestão possuem maior nível de maturidade, com nível 3. Já a dimensão com menor maturidade é tecnológica, com nível de 1,0.

4.8.2 Comentários sobre o modelo pela empresa estudada

De acordo com a entrevista presencial realizada com a responsável pela gestão da qualidade da empresa de manufatura estudada, os fatores-chave estão coerentes para avaliar a maturidade da Qualidade 4.0, entretanto, foi constatado que dificilmente serão implementadas simultaneamente as 31 melhorias propostas.

Além disso, a ordem de priorização sugerida pelo modelo por meio dos dados obtidos considerando o nível de importância dos fatores-chave no contexto brasileiro não atenta para o atual nível de maturidade. Nesse sentido, a empresa estudada priorizaria as melhorias propostas dos fatores com menores níveis de maturidade em vez dos sugeridos pelo modelo.

4.9 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DAS MELHORIAS

Em atendimento ao objetivo específico 5, foi aplicado o Questionário B a 11 indústrias de manufatura brasileiras para avaliar a viabilidade das 31 melhorias propostas com relação ao custo/benefício, recursos humanos, tecnológicos, financeiros e tipo de produto fabricado.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “Se você tivesse que implementar melhorias na sua empresa, quais dessas abaixo você escolheria e priorizaria como mais

importante? (Escolha de 8 a 12)” do questionário B, pode-se observar que as melhorias 2, 1, 4 e 6 são as que as indústrias respondentes selecionaram como sendo mais importantes e prioritárias, conforme Quadro 13.

Quadro 13 - Respostas obtidas das melhorias mais prioritárias e importantes para as indústrias respondentes

Nº	Melhoria	Percentual
2	Plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua	8,7%
1	Plano de aumento de engajamento focado nos processos	6,5%
4	Plano de aprimoramento da Cultura Organizacional	6,5%
6	Plano de aumento de aprendizado contínuo	6,5%
8	Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0	6,5%
10	Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0	6,5%
11	Plano de Mapeamento de Processos	6,5%
7	Plano de tomada de decisão fundamentada em dados	5,4%
3	Plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados	4,3%
9	Plano de implementação de Processos	4,3%
14	Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0	4,3%
16	Plano de mensuração e controle dos processos	4,3%
22	Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico	4,3%
5	Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0	3,3%
15	Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0)	3,3%
21	Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados	3,3%
25	Implementação de Códigos QR e RFID e Sensores	3,3%
12	Gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup	2,2%
13	Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura	2,2%
17	Plano de Análise de Processos com base em BPM	2,2%
26	Implementação de Computação em Nuvem	2,2%
18	Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ)	1,1%
27	Implementação de Ciência de dados para Manutenção Preditiva	1,1%
28	Implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade	1,1%
19	Implementação de CLQ e CLM	0,0%
20	Implementação um sistema de interoperabilidade	0,0%
23	Plano de Integração Horizontal	0,0%
24	Plano de Integração vertical	0,0%
29	Implementação de BlockChain	0,0%
30	Implementação de Manufatura Aditiva	0,0%
31	Implementação de Realidade Aumentada	0,0%

Fonte: O Autor.

Nesse sentido, considerando que as primeiras 4 melhorias mais importantes e prioritárias para as indústrias pertencem à dimensão cultural, pode-se concluir que estas respostas estão alinhadas com os dados obtidos pelo questionário A, no qual a dimensão cultural foi relatada como sendo uma das mais relevantes.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “*No geral, as melhorias que você escolheu, são viáveis? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável)*” do questionário B, pode-se observar que a nota 8 obteve quase metade das respostas, e a mediana para esta pergunta foi 8, conforme Quadro 14.

Quadro 14 – Respostas obtidas pela viabilidade, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

Nota	Porcentagem
10	18%
9	9%
8	45%
7	0%
6	18%
5	9%
4	0%
3	0%
2	0%
1	0%
0	0%
Mediana	8

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 14, e de acordo com o critério adotado das respostas (entre 7 e 10, alta viabilidade, 5 a 6,9 média viabilidade e abaixo de 4,9 inviabilidade) pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 são altamente viáveis para as indústrias respondentes.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “*No geral, As melhorias que você escolheu possuem bom Custo/Benefício? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável)*” do questionário B, pode-se observar que a nota 8 obteve quase metade das respostas, e a mediana para esta pergunta foi 8, conforme Quadro 15.

Quadro 15 - Respostas obtidas pela viabilidade custo/benefício, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

Nota	Quantidade
10	0%
9	18%
8	45%
7	18%
6	9%
5	9%
4	0%
3	0%
2	0%
1	0%
0	0%
Mediana	8

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 15, pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 são altamente viáveis em termos de custo/benefício para as indústrias

respondentes. Além disso, no campo “observações”, foi relatado que as melhorias requerem mão-de-obra qualificada, investimentos e ressaltaram a necessidade de sensibilizar a alta direção.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “*No geral, sua empresa teria recursos humanos para implementar as melhorias que você escolheu? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável)*” do questionário B, pode-se observar que a nota 4 obteve mais respostas, e a mediana para esta pergunta foi 6, conforme Quadro 16.

Quadro 16 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos humanos, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

Nota	Quantidade
10	0%
9	9%
8	18%
7	18%
6	9%
5	9%
4	27%
3	9%
2	0%
1	0%
0	0%
Mediana	6

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 16, pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 apresentam média viabilidade em termos de recursos humanos para as indústrias respondentes.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “*No geral, sua empresa teria recursos tecnológicos para implementar as melhorias que você escolheu? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável)*” do questionário B, pode-se observar que a nota 8 obteve mais respostas, e a mediana para esta pergunta foi de 7, conforme Quadro 17.

Quadro 17 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos tecnológicos, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

Nota	Quantidade
10	0%
9	9%
8	36%
7	9%
6	9%
5	0%
4	9%
3	9%
2	18%
1	0%
0	0%
Mediana	7

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 17, pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 apresentam alta viabilidade em termos de recursos tecnológicos para as indústrias respondentes.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta *“No geral, sua empresa teria recursos financeiros para implementar as melhorias que você escolheu? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável)”* do questionário B, pode-se observar que a nota 9 obteve mais respostas e a mediana para esta pergunta foi de 7, conforme Quadro 18.

Quadro 18 - Respostas obtidas pela viabilidade dos recursos financeiros, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

Nota	Quantidade
10	0%
9	27%
8	18%
7	18%
6	9%
5	9%
4	9%
3	0%
2	9%
1	0%
0	0%
Mediana	7

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 18, pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 apresentam alta viabilidade em termos de recursos financeiros para as indústrias respondentes.

De acordo com as respostas obtidas pela pergunta “No geral, as melhorias que você escolheu são viáveis quanto ao Tipo de Produto Fabricado/ Serviço Prestado pela empresa? (Sendo 0 totalmente inviável e 10 totalmente viável) do questionário B, pode-se observar que a nota 8 obteve mais respostas e a mediana foi de 8, conforme Quadro 19.

Quadro 19 - Respostas obtidas pela viabilidade quanto ao tipo de produto fabricado, no geral, das melhorias selecionadas pelas indústrias respondentes

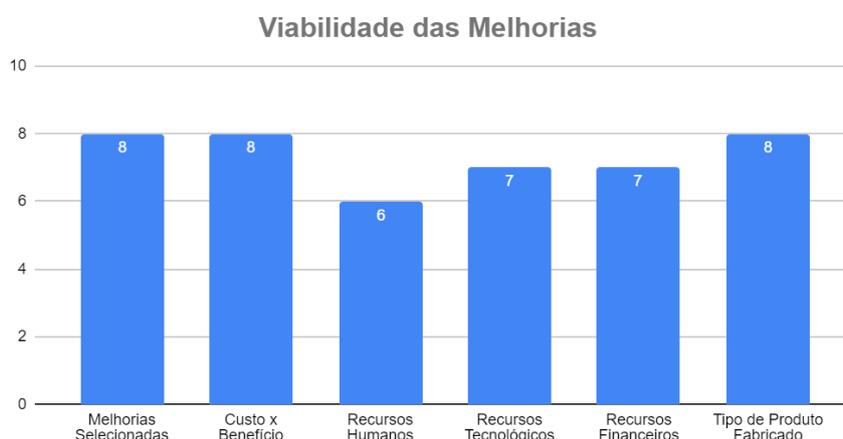
Nota	Quantidade
10	18%
9	27%
8	36%
7	9%
6	9%
5	0%
4	0%
3	0%
2	0%
1	0%
0	0%
Mediana	8

Fonte: O Autor

Segundo o Quadro 19, pode-se concluir que as melhorias selecionadas e apresentadas no Quadro 13 apresentam alta viabilidade em termos de tipo de produto fabricado para as indústrias respondentes.

De forma condensada e para melhor visualização, a Figura 23 apresenta a viabilidade das melhorias propostas pelo modelo.

Figura 23 – Resumo da Viabilidade das melhorias propostas do modelo



Fonte: O Autor.

Considerando a Figura 23, pode-se concluir que as melhorias possuem maior viabilidade quanto ao tipo de produto fabricado e custo x benefício e menor viabilidade para recursos humanos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

O desenvolvimento de um modelo de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 é altamente relevante para as indústrias de manufatura aderirem de alguma forma ao conceito da Indústria 4.0. A Qualidade 4.0 é uma abordagem relativamente nova, que visa integrar as tecnologias digitais avançadas à gestão da qualidade, com o objetivo de melhorar a eficiência e a eficácia dos processos de produção, aumentar a satisfação do cliente bem como possibilitar a fabricação em massa de produtos customizados e alinhados em tempo real com mercado.

No entanto, para que as empresas possam aplicar ao máximo as vantagens da Qualidade 4.0, elas precisam avaliar sua maturidade nessa área para que sejam propostas ações de melhoria. Nesse sentido, o presente trabalho visou contribuir com a elaboração de um modelo de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 alinhado à realidade do contexto brasileiro. Com base nos resultados da avaliação, as empresas podem identificar as áreas que precisam de mais investimento e esforços para aprimorar sua maturidade na Qualidade 4.0.

Para isso, o modelo desenvolvido foi constituído por 24 fatores-chave e 10 tecnologias, divididos em 4 dimensões: (1) Cultural; (2) de Gestão; (3) Tecnológica e (4) de Integração. Além disso, o modelo fornece um diagnóstico da situação atual e propõe 31 melhorias, visando aumentar o nível de maturidade da Qualidade 4.0.

Ao aplicar os Questionários A e B para especialistas em gestão da qualidade e em indústrias brasileiras, é possível concluir que os fatores-chave e tecnologias estão alinhados com o contexto brasileiro (objetivo específico 2) e as melhorias, no geral, são viáveis para as indústrias respondentes (objetivo específico 5). Isso significa que as empresas brasileiras podem se beneficiar da aplicação das melhorias nas suas práticas de gestão da qualidade.

O principal resultado obtido desta dissertação foi uma nova ferramenta para diagnosticar, avaliar e propor melhorias para aumentar o nível de maturidade no setor de gestão e avaliação da qualidade das empresas de manufatura. Essa nova ferramenta é o novo modelo de Avaliação da Maturidade da Qualidade 4.0 que consiste em um processo de avaliação juntamente com diretrizes para melhorias.

O objetivo geral foi atingido ao estruturar um modelo de avaliação do nível de maturidade da Qualidade 4.0 para empresas de manufatura de modo estabelecer um conjunto de melhorias para os processos de Gestão e Avaliação da Qualidade. Este modelo foi construído por meio do software Excel e consta completo no apêndice C.

O modelo foi constituído por fatores-chave ponderados (objetivo específico 1), possibilitando um diagnóstico da situação atual da empresa em uma escala Likert e

classificando-a em um dos 5 níveis de maturidade. Os fatores foram ponderados a partir dos resultados de um questionário aplicado a profissionais com experiência em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade.

Além disso, esse modelo é autoaplicável, composto por framework intuitivo, contendo ações de melhoria divididas nas dimensões cultural, de gestão, de integração e tecnológica conforme a nota obtida por cada dimensão. Essas ações de melhoria, caso aplicadas pela empresa, proporcionarão um aumento do nível de maturidade da Qualidade 4.0.

Os seguintes elementos no modelo estruturado devem ser destacados:

1. O modelo proposto inclui itens que não foram abordados nas referências bibliográficas consideradas e que a experiência prática revelou serem importantes. Como exemplo pode-se citar a integração entre os ambientes operacionais, táticos e estratégicos da Qualidade 4.0 na organização.
2. Pela proposta do presente estudo, no ambiente estratégico, a Qualidade 4.0 está presente quando o setor de gestão de qualidade utiliza tecnologias da Indústria 4.0 para buscar um maior alinhamento da empresa com o mercado, de modo a acompanhar e transmitir aos ambientes táticos e operacionais as mudanças de hábitos, tendências e comportamentos dos consumidores em tempo real. Para isso, é necessário que os ambientes táticos e operacionais sejam flexíveis e ágeis para adaptarem o mais rápido possível a linha de produção bem como os recursos necessários para a nova demanda. Portanto, pode-se concluir que esta integração entre os três ambientes é fundamental para a correta adoção da Qualidade 4.0 nas organizações.
3. A integração proposta considerou os seguintes 3 ambientes de atuação da gestão da qualidade propostos por Paladini (2019): (1) Operacional (2) Tático (3) Estratégico e seus respectivos indicadores de avaliação da qualidade *in-line*, *off-line* e *on-line*.
4. O ambiente (1) Operacional com indicadores *in-line* está relacionado aos processos produtivos na linha de produção, no qual a qualidade está corresponde ao atendimento às especificações, à capacidade de produção, à otimização de processos, à ausência de defeitos, à produtividade e às estratégias operacionais da empresa (PALADINI, 2019).
5. Já o ambiente (2) Tático com indicadores *off-line* consiste nas ações de suporte ao ambiente operacional, como por exemplo os procedimentos de manutenção, o Planejamento e Controle de Produção (PCP), os modelos gerenciais, as ações

de recrutamento, seleção e capacitação de colaboradores, as práticas de segurança do trabalho, os programas de marketing, dentre outros conjuntos de atividades que apoiam indiretamente a produção (PALADINI, 2019).

6. E, por fim, o ambiente (3) Estratégico com indicadores on-line está associado ao relacionamento da empresa com o mercado, ao percebimento e compreensão das necessidades dos clientes e consumidores bem como à capacidade de reação frente às possíveis mudanças que venham a ocorrer no mercado. Neste ambiente, é fundamental que a organização perceba o mais rápido possível estas mudanças na demanda, como por exemplo novos hábitos dos consumidores, para então adequar os processos produtivos de modo a atender a essa nova realidade (PALADINI, 2019).
7. O modelo também possui melhorias fundamentadas na Indústria da Qualidade (IoQ), proposta por Kumar, Sahithi e Revanth (2020). Esta característica está relacionada com a capacidade das empresas em reduzir os custos da qualidade de conformidade e não-conformidade utilizando tecnologias da Indústria 4.0 como Internet das Coisas, Sistemas Ciber-físicos, Big Data e Gêmeos Digitais.
8. Modelo é customizável a diferentes pesos, critérios e especialistas

Cabe destacar que, apesar da Qualidade 4.0 estar diretamente relacionada com as tecnologias da Indústria 4.0, a dimensão mais importante, considerando o contexto brasileiro, de acordo com o Questionário A (Apêndice A) foi a dimensão cultural. Com o presente trabalho, pode-se concluir que a cultura da empresa desempenha um papel fundamental na implementação bem-sucedida da Qualidade 4.0, pois influencia a forma como os funcionários lidam com mudanças, aprendem e se adaptam a novas tecnologias e práticas de trabalho, principalmente, sob apoio da alta administração.

Por envolverem diversos componentes como valores, hábitos, crenças e normas, as mudanças culturais são complexas e envolvem participação ativa de todos os colaboradores. Nesse sentido, a cultura organizacional também pode ser uma barreira significativa para a empresa elevar seu nível de maturidade da Qualidade 4.0, principalmente quando a cultura for resistente a mudanças e baixo comprometimento.

Corroborando com o exposto acima, as melhorias mais importantes, de acordo com o Questionário B foram também relacionadas à dimensão cultural. Os planos de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua, de aumento do engajamento, do

aprimoramento da cultura organizacional e do aprendizado contínuo foram as melhorias mais importantes prioritárias de acordo com as empresas respondentes.

Pode-se concluir também que, no geral, as melhorias propostas são altamente viáveis com relação ao custo x benefício e tipo de produto fabricado e possuem viabilidade média para os recursos humanos, tecnológicos e financeiros.

Devido ao modelo ser extenso, com 5 Abas, 24 fatores-chave, 10 tecnologias, 31 melhorias propostas e diversas informações a serem analisadas, uma das principais dificuldades encontradas foi descobrir uma forma de avaliar a viabilidade do modelo de modo que não demandasse muito tempo dos respondentes.

Primeiramente, foram enviados um questionário e o modelo completo em Excel (constante no Apêndice C), para que as indústrias avaliassem os fatores-chave, as melhorias, e estimassem os impactos caso as melhorias fossem aplicadas em suas indústrias. Devido à complexidade em analisar os diversos elementos do modelo, as empresas acabaram por não responder.

Assim, foi necessário mudar a estratégia de avaliação do modelo por meio do Questionário B (Apêndice B), no qual o foco foi avaliar a viabilidade das melhorias propostas por meio da seleção das melhorias mais alinhadas e priorizadas como mais importantes de acordo com a realidade da empresa respondente, bem como seus níveis de viabilidade em termos gerais de custo-benefício, recursos (financeiros, humanos e tecnológicos) e tipo de produto fabricado. Dessa forma, conseguiu-se respostas suficientes para se obter uma conclusão de viabilidade das melhorias.

Devido ao tema ser recente, e a Qualidade 4.0 englobar diversas dimensões e itens dentro da indústria, este modelo ainda necessita ser aprofundado em seu estudo, assim, recomenda-se aprofundar o estudo das melhorias propostas pelo modelo desenvolvido por meio da aplicação prática do modelo em indústrias de manufatura de diferentes níveis de maturidade e mensurar os resultados obtidos pelas melhorias implementadas, aprimorando assim o modelo.

Também recomenda-se ampliar as características do modelo para englobar outras dimensões e fatores que possam ser considerados e que possam contribuir para maior alinhamento com as possíveis mudanças do mercado. Assim, devido a elevada importância da dimensão cultural, recomenda-se aperfeiçoar os fatores-chave relacionados a esta dimensão e correlacioná-los com outros fatores-chave, não considerados neste trabalho, relacionados diretamente às oscilações do mercado, como por exemplo parcela de participação do produto/serviço no mercado, satisfação dos consumidores, entre outros.

Do mesmo modo, recomenda-se aprofundar e especificar as melhorias sugeridas e estabelecer indicadores associados ao ambiente de avaliação da qualidade (*in-line*, *off-line* e *on-line*) estabelecidos por Paladini (2019), contendo os elementos: objetivo, justificativa, ambiente, padrão, elemento, fator e medida.

Outro ponto de estudo futuro sugerido consiste em analisar uma forma de se priorizar as melhorias considerando simultaneamente o contexto brasileiro, o nível de maturidade atual da empresa e os recursos disponíveis como humanos, tecnológicos e financeiros. Como pesquisas futuras, sugere-se avaliar a possibilidade de se desenvolver um aplicativo associado ao modelo.

Mais especificamente, o aplicativo consiste em uma ferramenta, que permite às empresas avaliarem seu nível de maturidade em relação às suas práticas atuais da Qualidade 4.0. Ele pode ser construído com base em uma planilha automatizada em Excel que utiliza como dados de entrada os pesos, os critérios, os níveis de importância e a autoavaliação. Como dados de saída, o aplicativo gerará uma base de dados correspondente ao nível de importância, perfil dos respondentes, gráficos, diagnóstico do nível atual de maturidade e melhorias priorizadas.

Ele pode ser aplicado em empresas de manufatura que desejam melhorar seu desempenho em relação às práticas da Qualidade 4.0, bem como comparar seu nível de maturidade em relação a outras empresas.

Por fim, conclui-se que o presente trabalho apresentou as seguintes contribuições e implicações práticas para as indústrias de manufatura brasileiras: (1) Determinação dos fatores-chave e tecnologias relacionadas à maturidade da Qualidade 4.0; (2) Priorização da importância relativa entre os fatores-chave e tecnologias; (3) Diagnóstico por meio da autoavaliação do atual nível de maturidade da Qualidade 4.0 e (4) Melhorias propostas com a finalidade de elevar o nível atual da maturidade da Qualidade 4.0.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Marina Fernandes; JUGEND, Daniel. Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, p. 132732, 2022.
- CBOK, BPM. Guide to the business process management common body of knowledge. Versão, v. 2, 2009.
- AL-FEDAGHI, Sabah; MOHAMAD, Yazan. Business process mapping: a case study. In: 2019 IEEE/ACS 16th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA). **IEEE**, 2019. p. 1-8.
- ALEMSAN, Maruan Karím *et al.* INOVAÇÕES REALIZADAS EM UMA CLÍNICA DE FISIOTERAPIA NA PANDEMIA DE COVID-19. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 10, n. 17, p. 49-62, 2022.
- ALEMSAN, Maruan Karím; PALADINI, Edson Pacheco. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE MATURIDADE DA QUALIDADE 4.0 - UMA ANÁLISE CRÍTICA. **Enegep XLII**. Foz do Iguaçu, out. 2022.
- ANANTATMULA, Vittal S.; RAD, Parviz F. Role of organizational project management maturity factors on project success. **Engineering Management Journal**, v. 30, n. 3, p. 165-178, 2018.
- ANTONY, Jiju *et al.* Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. **The TQM Journal**, 2021.
- ANTONY, Jiju; DOUGLAS, Jacqueline Ann; SONY, Michael. Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. **The TQM Journal**, 2020.
- ARINEZ, Jorge F. *et al.* Artificial intelligence in advanced manufacturing: Current status and future outlook. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 142, n. 11, p. 110804, 2020.
- ARMANI, Camila Garmes *et al.* Proposal and application of a framework to measure the degree of maturity in Quality 4.0: A multiple case study. In: **Advances in Mathematics for Industry 4.0**. Academic Press, 2021. p. 131-163.
- BARAN, Erhan; Korkusuz POLAT, Tulay. Classification of Industry 4.0 for Total Quality Management: A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3329, 2022.
- BARARI, Ahmad *et al.* Intelligent manufacturing systems towards industry 4.0 era. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 32, p. 1793-1796, 2021.
- BASTEN, Dirk; HAAMANN, Thilo. Approaches for organizational learning: A literature review. **Safe Open**, v. 8, n. 3, p. 2158244018794224, 2018.

BELINSKI, Ricardo *et al.* Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, n. 8, p. 2435-2457, 2020.

BERTOLINI, Massimo *et al.* Machine Learning for industrial applications: A comprehensive literature review. **Expert Systems with Applications**, v. 175, p. 114820, 2021.

BODKHE, Umesh *et al.* Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. **IEEE Access**, v. 8, p. 79764-79800, 2020.

BOUZON, Marina *et al.* Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. **Resources, conservation and recycling**, v. 108, p. 182-197, 2016.

CABANILLAS, Cristina; RESINAS, Manuel; CORTÉS, Antonio. Mixing RASCI matrices and BPMN together for responsibility management. **Jornadas De Ciencia E Ingeniería De Servicios**, 2011.

CAROLIS, Anna de *et al.* A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Cham, 2017. p. 13-20.

CARVALHO, Adriana Ventura; LIMA, Tânia Miranda. Quality 4.0 and Cognitive Engineering Applied to Quality Management Systems: A Framework. **Applied System Innovation**, v. 5, n. 6, p. 115, 2022.

CAO, Longbing. Data science: a comprehensive overview. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 50, n. 3, p. 1-42, 2017.

CAUCHICK, Paulo Augusto Miguel *et al.* Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: **Elzevir**, 2010.

CHAVES, Júlia Kich *et al.* Servitização Digital: Uma análise comparativa do serviço de carros por assinatura no Brasil. **Produto & Produção**, v. 23, n. 2, p. 43-60, 2022.

COHEN, Yuval; SINGER, Gonen. A smart process controller framework for Industry 4.0 settings. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 32, n. 7, p. 1975-1995, 2021.

CHRISTOU, Ioannis T. *et al.* End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications. **Computers in Industry**, v. 137, p. 103591, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (org.). INDÚSTRIA 4.0 CINCO ANOS DEPOIS: **Sondagem Especial 83**. 2022. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/7d/d9/7dd92b31-8860-4ca7-b921-b28fec0a68bc/sondespecial_industria40_cincoanosdepois_abril2022.pdf. Acesso em: 23 maio 2022.

CULOT, Giovanna *et al.* Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. **International Journal of Production Economics**, v. 226, p. 107617, 2020.

DAROCZI, Miklos; HUSTI, Istvan; SADLER, Sami. A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. v. **Total Quality Management & Business Excellence**, p. 1-19, 2021.

DEVAGIRI, Jeevan S. *et al.* Augmented Reality and Artificial Intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges. *Expert Systems with Applications*, p. 118002, 2022.

DIABY, Tinankoria; RAD, Babak Bashari. Cloud computing: a review of the concepts and deployment models. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, v. 9, n. 6, p. 50-58, 2017.

DONG, Linying; NEUFELD, Derrick; HIGGINS, Chris. Top management support of enterprise systems implementations. *Journal of Information technology*, v. 24, n. 1, p. 55-80, 2009.

DROR, Shuki. QFD for selecting key success factors in the implementation of quality 4.0. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 38, n. 6, p. 3216-3232, 2022.

DUTTA, Gautam *et al.* Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: a conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing*, p. 1-20, 2021.

ELIBAL, Kerem; ÖZCEYLAN, Eren. Comparing industry 4.0 maturity models in the perspective of TQM principles using Fuzzy MCDM methods. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 175, p. 121379, 2022.

ELMARAGHY, Hoda *et al.* Evolution and future of manufacturing systems. *CIRP Annals*, v. 70, n. 2, p. 635-658, 2021.

EMBLEMSVAG, Jan. On Quality 4.0 in project-based industries. *The TQM Journal*, 2020.

ESCOBAR, Carlos A.; MCGOVERN, Megan E.; MENENDEZ, Ruben M. Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 32, p. 2319-2334, 2021.

HASSOUN, Abdo *et al.* Food quality 4.0: From traditional approaches to digitalized automated analysis. *Journal of Food Engineering*, p. 111216, 2022.

HOFER, Andreas *et al.* A framework for managing innovation cycles in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, v. 93, p. 771-776, 2020.

GILL, Brian; BORDEN, Brandon Coffee; HALLGREN, Kristin. A conceptual framework for data-driven decision making. Final Report of Research conducted by **Mathematica Policy Research**, Princeton, submitted to Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA, 2014..

GLOGOVAC, Maja; MARICIC, Milica; RUSO, Jelena. ISO 9004 maturity model for quality in industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, p. 1-19, 2020.

GÖKALP, Ebru; MARTINEZ, Veronica. Digital transformation maturity assessment: development of the digital transformation capability maturity model. **International Journal of Production Research**, v. 60, n. 20, p. 6282-6302, 2022.

GROYSBERG, Boris *et al.* The leader's guide to corporate culture. **Harvard business review**, v. 96, n. 1, p. 44-52, 2018.

GUPTA, Deepak; RANI, Rinkle. A study of big data evolution and research challenges. **Journal of Information Science**, v. 45, n. 3, p. 322-340, 2019.

GURSEV, Samet; OZTEMEL, Ercan. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

GUZMÁN, Valeria E. *et al.* Characteristics and Skills of Leadership in the Context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 43, p. 543-550, 2020.

HALEEM, Abid; JAVAID, Mohd. Additive manufacturing applications in industry 4.0: a review. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 4, n. 04, p. 1930001, 2019.

HUGHES, Laurie *et al.* Perspectives on the future of manufacturing within the Industry 4.0 era. **Production Planning & Control**, v. 33, n. 2-3, p. 138-158, 2022.

HUSSAIN, Mudassar; KHAN, Junaid. Key success factors of Total Quality Management (TQM) for the hospitality sector: A critical review of the literature. **Arabian Journal of Business and Management Review**, v. 10, n. 4, p. 1-17, 2020.

JACOB, D. Quality 4.0 impact and strategy handbook. **Cambridge: LNS Research**, 2017.

JAIN, V. *et al.* A Systematic Literature Review on QR Code Detection and Pre-processing. **International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering**, n. 46, p. 111-119, 2021.

JIMÉNEZ, Mariano *et al.* Additive manufacturing technologies: an overview about 3D printing methods and future prospects. **Complexity**, 2019.

KAFLE, Abishek *et al.* 3D/4D Printing of polymers: Fused deposition modelling (FDM), selective laser sintering (SLS), and stereolithography (SLA). **Polymers**, v. 13, n. 18, p. 3101, 2021.

KDIL, Kartal Yagiz; CEVIKCAN, Emre; USTUNDAG, Alp. Maturity and readiness model for industry 4.0 strategy. In: Industry 4.0: Managing the digital transformation. **Springer, Cham**, 2018. p. 61-94.

KENETT, Ron S.; ZONNENSHAIN, Avigdor. Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. **Quality Engineering**, v. 32, n. 4, p. 614-626, 2020.

KHANFAR, Ahmad AA *et al.* Applications of blockchain technology in sustainable manufacturing and supply chain management: A systematic review. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 7870, 2021.

KUMAR, M. Pradeep; SAHITHI, P.; REVANTH, S. Sai. **Industry of quality (IoQ)–An industry 4.0 perspective**. IJAR, v. 6, n. 4, p. 109-114, 2020.

KURUBA, Manjunath Bheemaiah. Design of Quality 4.0 Maturity Assessment Methodology. **Technická univerzita Ostrava**. 2022.

LI, Xuemei; XU, Li D. A review of Internet of Things—resource allocation. **IEEE Internet of Things Journal**, 2020.

LU, Yuqian; XU, Xun; WANG, Lihui. Smart manufacturing process and system automation—a critical review of the standards and envisioned scenarios. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, p. 312-325, 2020.

MAGANGA, Deusdedith Pastory; TAIFA, Ismail WR. Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. **The TQM Journal**, 2022.

MADDIKUNTA, Praveen Kumar Reddy *et al.* Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, p. 100257, 2022.

MAHESH, Batta. Machine Learning Algorithms-A Review. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, v. 9, p. 381-386, 2020.

MAGANGA, Deusdedith Pastory; TAIFA, Ismail WR. Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. **The TQM Journal**, 2022.

MAKHANYA, Bheki BS; NEL, Hannelie; PRETORIUS, Jan-Harm C. Benchmarking quality management maturity in industry. In: 2018 **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, 2018. p. 575-579.

MATTAR, Fauze Najib. Pesquisa de Marketing Edição Compacta. 2.ed. São Paulo: **Atlas**, 2000.

MARTINHO, José Luís; SANTOS, Reginaldo Carreiro. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

MITTAL, Sameer *et al.* A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of manufacturing systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.

MTOTYWA, Matolwandile Mzuvukile. Developing a Quality 4.0 Maturity Index for Improved Business Operational Efficiency and Performance. **Quality Innovation Prosperity**, v. 26, n. 2, p. 101-127, 2022.

NAKAGAWA, Elisa Yumi *et al.* **Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: teoria e prática**. 2017.

NEGRON, Luis Alfredo. Relationship between quality management practices, performance and maturity quality management, a contingency approach. **Quality Management Journal**, v. 27, n. 4, p. 215-228, 2020.

NENADÁL, Jaroslav *et al.* Quality 4.0 Maturity Assessment in Light of the Current Situation in the Czech Republic. **Sustainability**, v. 14, n. 12, p. 7519, 2022.

NIMAWAT, Dheeraj; GIDWANI, B. D. An overview of industry 4.0 in manufacturing industries. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 40, n. 4, p. 415-454, 2022.

NORTH, Klaus; KUMTA, Gita. Knowledge management: Value creation through organizational learning. 2020.

NTI, Isaac Kofi *et al.* Applications of artificial intelligence in engineering and manufacturing: a systematic review. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 33, n. 6, p. 1581-1601, 2022.

OOSTHUIZEN, Rudolf M. The fourth industrial revolution. Presented at the **American Psychological Association** in Minneapolis, v. 4, p. 6, 2022.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão e avaliação da qualidade: uma abordagem estratégica**. São Paulo, 2019.

PALADINI, Edson Pacheco. **Recuperação do Brasil Pós COVID-19**. 2020. Disponível em: <https://abqualidade.org.br/academico-edson-pacheco-paladini/>. Acesso em: 18 jun. 2022.

PALMARINI, Riccardo *et al.* A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 49, p. 215-228, 2018.

PEREIRA, Ricardo; SANTOS, Neri dos. Indústria 5.0: reflexões sobre uma nova abordagem paradigmática para a indústria. **XLVI Encontro da ANPAD**, 2022.

PÉREZ-LARA, Magdiel *et al.* Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. **Wireless Networks**, v. 26, n. 7, p. 4767-4775, 2020.

PROVOST, Foster; FAWCETT, Tom. Data science and its relationship to big data and data-driven decision making. **Big data**, v. 1, n. 1, p. 51-59, 2013

QI, Qinglin; TAO, Fei. A smart manufacturing service system based on edge computing, fog computing, and cloud computing. **IEEE access**, v. 7, p. 86769-86777, 2019.

RAI, Rahul *et al.* Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 16, p. 4773-4778, 2021.

RADZIWILL, Nicole M. Quality 4.0: Let's Get Digital-The many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. **arXiv:1810.07829**, 2018.

REIS, Thalita Laua; MATHIAS, Maria Augusta Siqueira; DE OLIVEIRA, Otavio Jose. Maturity models: identifying the state-of-the-art and the scientific gaps from a bibliometric study. **Scientometrics**, v. 110, n. 2, p. 643-672, 2017.

RÜBEL, Sarah *et al.* A maturity model for business model management in industry 4.0. In: **Multikonferenz Wirtschaftsinformatik**. 2018. p. 6-9.

SAHOO, Snehasis; LO, Cheng-Yao. Smart manufacturing powered by recent technological advancements: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 64, p. 236-250, 2022.

SAJID, Sufiyan *et al.* Data science applications for predictive maintenance and materials science in context to Industry 4.0. **Materials today: proceedings**, v. 45, p. 4898-4905, 2021.

SAXBY, Robert; CANO-KOUROUKLIS, Michele; VIZA, Evi. An initial assessment of Lean Management methods for Industry 4.0. **The TQM Journal**, 2020.

SCHAUFELI, Wilmar B.; SALANOVA, Marisa. How to improve work engagement?. In: Handbook of employee engagement. **Edward Elgar Publishing**, 2010.

SCHMITT, Jacqueline *et al.* Predictive model-based quality inspection using Machine Learning and Edge Cloud Computing. **Advanced engineering informatics**, v. 45, p. 101101, 2020.

SCHUMACHER, Andreas; NEMETH, Tanja; SIHN, Wilfried. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 79, p. 409-414, 2019.

SEGOVIA, Daniel *et al.* Augmented reality as a tool for production and quality monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 75, p. 291-300, 2015.

SHRESTHA, Ajay; MAHMOOD, Ausif. Review of deep learning algorithms and architectures. **IEEE Access**, v. 7, p. 53040-53065, 2019.

SIGOV, Alexander *et al.* Emerging enabling technologies for industry 4.0 and beyond. **Information Systems Frontiers**, p. 1-11, 2022.

SILVA, Diego Souza *et al.* Lean Startup, Agile Methodologies and Customer Development for business model innovation: A systematic review and research agenda. **International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research**, 2020.

SOUZA, Fabiane Florencio de *et al.* Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. **The TQM Journal**, v. 34, n. 4, p. 749-769, 2022.

STEINER, Frantisek *et al.* Industry 4.0 and business process management. **Tehnički glasnik**, v. 13, n. 4, p. 349-355, 2019.

STANCIOIU, Alin. The fourth industrial revolution „Industry 4.0“. **Fiabilitate Si Durabilitate**, v. 1, n. 19, p. 74-78, 2017.

STAWIARSKA, Ewa *et al.* Diagnosis of the Maturity Level of Implementing Industry 4.0 Solutions in Selected Functional Areas of Management of Automotive Companies in Poland. **Sustainability**, v. 13, n. 9, p. 4867, 2021.

SUTOOVA, Andrea; SOOS, Lubomír; KOCA, Ferdinand. Learning Needs Determination for Industry 4.0 Maturity Development in Automotive Organisations in Slovakia. **Quality Innovation Prosperity**, v. 24, n. 3, p. 122-139, 2020.

TRIPATHI, Rajeev; DWIVEDI, Santosh Kumar. QR Code and RFID Agile Tags Provide Secure Data Extraction. **THE AJHSSR**, v. 04, n 06, p. 70-77, 2021

TRSTENJAK, Maja *et al.* Process planning in Industry 4.0—current state, potential and management of transformation. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 5878, 2020.

ÜNAL, Cihan; SUNGUR, Cemil; YILDIRIM, Hakan. Application of the Maturity Model in Industrial Corporations. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9478, 2022.

VAN ASSEN, Marcel F. Training, employee involvement and continuous improvement—the moderating effect of a common improvement method. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 2, p. 132-144, 2021.

VOSS, C. *et al.* Case Research in Operations Management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

VYKYDAL, David; NENADÁL, Jaroslav. Closed-Loop Quality Management Systems: Are Czech Companies Ready?. **Quality Innovation Prosperity**, v. 26, n. 2, p. 72-87, 2022.

WAN, Jiafu *et al.* Artificial-intelligence-driven customized manufacturing factory: key technologies, applications, and challenges. **IEEE**, v. 109, n. 4, p. 377-398, 2020.

WANG, Pei. On defining artificial intelligence. **Journal of Artificial General Intelligence**, v. 10, n. 2, p. 1-37, 2019.

WANG, Junliang *et al.* Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 62, p. 738-752, 2022.

WAGIRE, Aniruddha Anil *et al.* Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 8, p. 603-622, 2021.

XU, Li Da; DUAN, Lian. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 2, p. 148-169, 2019.

YANG, Jing *et al.* Using deep learning to detect defects in manufacturing: a comprehensive survey and current challenges. **Materials**, v. 13, n. 24, p. 5755, 2020.

ZEID, Abe *et al.* Interoperability in smart manufacturing: Research challenges. **Machines**, v. 7, n. 2, p. 21, 2019.

ZIKRIA, Yousaf Bin *et al.* Next-Generation Internet of Things (IoT): Opportunities, Challenges, and Solutions. **Sensors 2021**, 2021.

ZHENG, Ting *et al.* The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 6, p. 1922-1954, 2021.

APÊNDICES

Apêndice A – Questionário A

Apêndice B – Questionário B

Apêndice C – Modelo desenvolvido de Avaliação do Nível de Maturidade da Qualidade 4.0

Qual seu cargo?

Presidência/Diretoria

Gerência

Coordenação

Supervisão

Analista

Assistente

Estagiário

Outro: _____

Você possui conhecimentos em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade?

Sim

Não

Se sim, quanto tempo de experiência/estudo em Indústria 4.0, Qualidade 4.0 e/ou Gestão e Avaliação da Qualidade?

Menos que 1 ano

1 a 2 anos

3 a 4 anos

5 a 6 anos

7 a 10 anos

11 a 15 anos

16 a 20 anos

Acima de 21 anos



Fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

Prezado(a), Meu nome é Maruan K. Alemsan e sou mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, sob orientação do Prof. Edson Pacheco Paladini.

Estamos enviando esse questionário para verificar o nível de importância dos fatores-chave da maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro.

A Qualidade 4.0 consiste na utilização de uma ou mais tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas tradicionais da qualidade com a finalidade de fabricar produtos ou disponibilizar serviços customizados de modo interativo em tempo real com o mercado.

Os fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0 podem ser definidos como sendo os aspectos mais relevantes que contribuem para se obter um maior nível de maturidade da Qualidade 4.0.

Levará apenas 7 minutos para respondê-lo! Sua contribuição será muito importante!

Obrigado!

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

Qual sua escolaridade?

Escolher



Qual sua área de atuação?

Sua resposta



Fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

1 - Dimensão Cultural

Assinale entre 1 e 5 o nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro. Caso você julgar que não se aplica/não sabe poderá deixar em branco.

Engajamento dos colaboradores nos processos

Pouco importante 1 2 3 4 5 Muito importante

Observações (Opcional):

Sua resposta

Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade

Pouco importante 1 2 3 4 5 Muito importante

Observações (Opcional):

Sua resposta



Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações (Opcional):

Sua resposta

A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações (Opcional):

Sua resposta

Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações (Opcional):

Sua resposta



Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Página 2 de 5

Voltar

Próxima

Limpar formulário

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários



Fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

2 - Dimensão de gestão

Assinale entre 1 e 5 o nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

Tomada de decisão fundamentada em dados

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta _____

Os processos são planejados adequadamente

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta _____



Os processos são implementados adequadamente

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Os processos são bem compreendidos por todos

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Os processos são bem descritos

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta



Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Os processos são gerenciados de forma inovadora.

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Abordagem formalizada e estruturada de gestão

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta



Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Observações:

Sua resposta

A empresa mensura de forma abrangente os processos

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

A empresa analisa de forma abrangente os processos

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Observações:

Sua resposta

Página 3 de 5

Voltar

Próxima

Limpar formulário

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários



Fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

3 - Dimensão Tecnológica

Assinale entre 1 e 5 o nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia.

Pouco importante 1 2 3 4 5 Muito importante

Observações:

Sua resposta

Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0

Pouco importante 1 2 3 4 5 Muito importante

Observações:

Sua resposta



Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta



Assinale o nível de importância das seguintes tecnologias da Qualidade 4.0

	1	2	3	4	5	Não se Aplica
Tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores	<input type="radio"/>					
Computação em nuvem	<input type="radio"/>					
Big Data	<input type="radio"/>					
Aprendizado de Máquina	<input type="radio"/>					
Aprendizado Profundo	<input type="radio"/>					
Inteligência Artificial	<input type="radio"/>					
Ciência de dados	<input type="radio"/>					
Blockchain	<input type="radio"/>					
Manufatura aditiva	<input type="radio"/>					
Realidade Aumentada	<input type="radio"/>					

Observações:

Sua resposta

Página 4 de 5

Voltar

Próxima

Limpar formulário

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)



Fatores-chave da Maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

4 - Dimensão de Integração

Assinale entre 1 e 5 o nível de importância dos fatores-chave de maturidade da Qualidade 4.0 no contexto brasileiro

Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta

Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída

	1	2	3	4	5	
Pouco importante	<input type="radio"/>	Muito importante				

Observações:

Sua resposta



Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Observações:

Sua resposta _____

Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção

1 2 3 4 5

Pouco importante Muito importante

Observações:

Sua resposta _____

No geral, o que você achou desses fatores-chave? Existe outro fator-chave que você acha interessante considerar que não foi incluído aqui?

Sua resposta _____

Outras observações que você gostaria de fazer

Sua resposta _____



Análise Viabilidade Modelo Maturidade da Qualidade 4.0

Prezado(a), Meu nome é Maruan K. Alemsan e sou mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, sob orientação do Prof. Edson Pacheco Paladini.

Estamos enviando esse questionário para verificar a viabilidade do modelo de avaliação da maturidade da Qualidade 4.0 que desenvolvemos. Levará **apenas 6 minutos para respondê-lo!**

Obrigado desde já!

Qualquer dúvida fico à disposição por meio do Whats (48) 9 8439 1610 ou e-mail: maruan.alemsan@gmail.com

maruan.alemsan@gmail.com [Alternar conta](#)



Não compartilhado

* Indica uma pergunta obrigatória

Qual o Setor da empresa que você trabalha? (Ex. metalúrgico, alimentos, etc) *

Sua resposta



Se você tivesse que implementar melhorias na sua empresa, quais dessas abaixo *
você escolheria e priorizaria como mais importante? (escolha de 8 a 12)

- 1 - Plano de aumento de engajamento focado nos processos
- 2 - Plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua
- 3 - Plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados
- 4 - Plano de aprimoramento da Cultura Organizacional
- 5 - Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0
- 6 - Plano de aumento de aprendizado contínuo
- 7 - Plano de tomada de decisão fundamentada em dados
- 8 - Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0
- 9 - Plano de implementação de Processos
- 10 - Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0
- 11 - Plano de Mapeamento de Processos
- 12 - Gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup
- 13 - Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura
- 14 - Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0
- 15 - Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0)
- 16 - Plano de mensuração e controle dos processos
- 17 - Plano de Análise de Processos com base em BPM
- 18 - Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ)
- 19 - Implementação de CLQ e CLM
- 20 - Implementação um sistema de interoperabilidade
- 21 - Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados
- 22 - Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico
- 23 - Plano de Integração Horizontal
- 24 - Plano de Integração vertical
- 25 - Implementação de Códigos QR e RFID e Sensores
- 26 - Implementação de Computação em Nuvem
- 27 - Implementação de Ciência de dados para Manutenção Preditiva
- 28 - Implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade



- 29 - Implementação de BlockChain
- 30 - Implementação de Manufatura Aditiva
- 31 - Implementação de Realidade Aumentada

No geral, as melhorias que você escolheu, são viáveis? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável

Observações (Opcional)

Sua resposta _____

No geral, As melhorias que você escolheu possuem bom Custo/Benefício? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável

Observações (Opcional)

Sua resposta _____

No geral, sua empresa teria recursos humanos para implementar as melhorias que você escolheu? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável



Observações (Opcional)

Sua resposta

No geral, sua empresa teria recursos tecnológicos para implementar as melhorias que você escolheu? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável

Observações (Opcional)

Sua resposta

No geral, sua empresa teria recursos financeiros para implementar as melhorias que você escolheu? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável

Observações (Opcional)

Sua resposta

No geral, as melhorias que você escolheu são viáveis quanto ao Tipo de Produto Fabricado/ Serviço Prestado pela empresa? *

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Totalmente inviável Totalmente Viável



Observações (Opcional)

Sua resposta

Muito obrigado! Gostaria de receber os resultados? se sim, deixe seu e-mail abaixo.

Sua resposta

Enviar

Limpar formulário

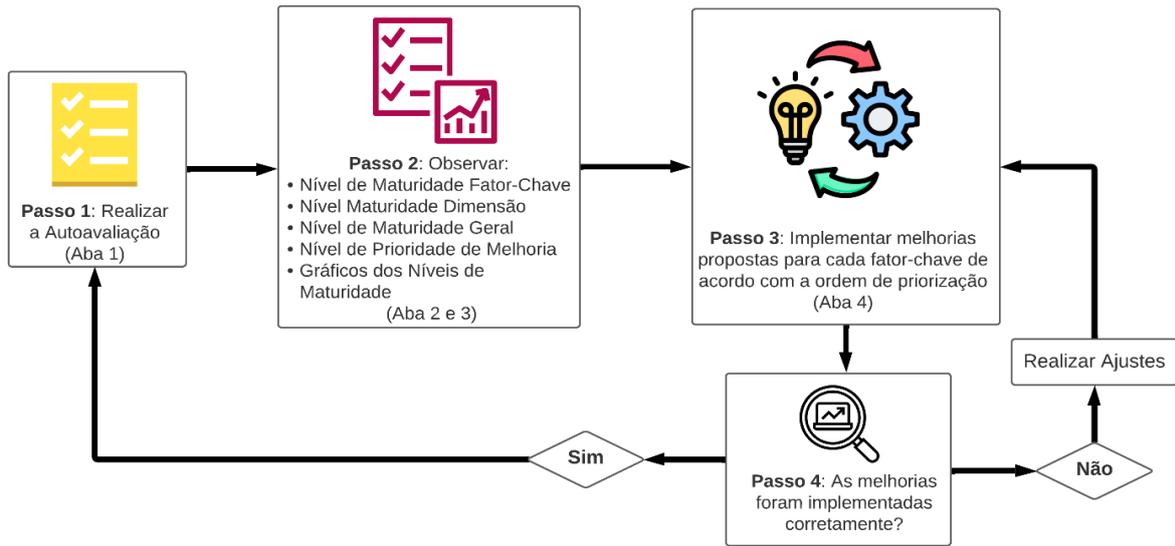
Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários



Roteiro de Implementação do Modelo de Avaliação da Maturidade da Qualidade 4.0



Assinalar, por favor, com um X de acordo com a realidade atual da sua empresa

Dimensão Cultural

Marque com um X	1) Como é o engajamento dos colaboradores nos processos?
	a) Não há engajamento dos colaboradores nos processos. Os colaboradores trabalham pela sobrevivência de necessidade do salário. Há Insatisfação com o trabalho.
	b) Há baixo engajamento nos processos. Os colaboradores gostam do trabalho, entregando somente o que é cobrado. Possui foco externo, na sua vida pessoal.
	c) Há engajamento dos colaboradores nos processos, com senso de pertencimento, com foco mais em alcançar objetivos pessoais profissionais do que os objetivos da organização.
x	d) Há alto engajamento dos colaboradores nos processos, com internalização dos valores da empresa, é valorizado e sempre está buscando o melhor desempenho.
	e) Há elevado engajamento dos colaboradores nos processos. Com alto senso de propósito, influenciam positivamente outras pessoas, buscando o sucesso do negócio bem como entregando resultados além das expectativas.

Marque com um X	2) Como é o engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade?
	a) Não há engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade. Os colaboradores trabalham pela sobrevivência de necessidade do salário. Há Insatisfação com o trabalho.
	b) Há baixo engajamento na melhoria da qualidade. Os colaboradores gostam do trabalho, entregando somente o que é cobrado. Possui foco externo, na sua vida pessoal.
	c) Há engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade, com senso de pertencimento, com foco mais em alcançar objetivos pessoais profissionais do que os objetivos da organização.
x	d) Há alto engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade, com internalização dos valores da empresa, é valorizado e sempre está buscando o melhor desempenho.
	e) Há elevado engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade. Com alto senso de propósito, influenciam positivamente outras pessoas, buscando o sucesso do negócio bem como entregando resultados além das expectativas.

Marque com um X	3) Há um aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados?
	a) Não há um aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
	b) Há baixo aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
x	c) Há aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
	d) Há elevado aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados
	e) Há elevado e consistente sistema de aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados no qual os colaboradores aprendem continuamente a utilizar as tecnologias, modelos e metodologias da ciência de dados.

Marque com um X	4) A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0?
	a) Não há apoio da cultura organizacional para implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	b) Há baixo apoio da cultura organizacional para implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	d) Há apoio da cultura organizacional para a implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
x	d) Há elevado apoio da cultura organizacional para a implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	e) Há elevado apoio consistente, com ações bem definidas, da cultura organizacional para o suporte da melhoria contínua e implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.

Marque com um X	5) Há o suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0?
	a) Não há suporte da alta administração para um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	b) Há baixo suporte da alta administração para a implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	d) Há suporte da alta administração para a implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
	d) Há elevado suporte da alta administração para a implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.
x	e) Há elevado suporte, com ações bem definidas e aderidas ao planejamento estratégico da organização, da alta administração para a melhoria contínua e implementação de um sistema de gestão da qualidade aderido à Indústria 4.0.

Marque com um X	6) Há um aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional?
	a) Não há aprendizado contínuo aderido à cultura organizacional
	b) Há baixo aprendizado contínuo aderido à cultura organizacional
	d) Há aprendizado contínuo aderido à cultura organizacional, definido e realizado a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há elevado aprendizado contínuo aderido à cultura organizacional, sendo gerenciado quantitativamente.
x	e) Há elevado aprendizado contínuo, com ações bem definidas, aderido à cultura organizacional, otimizado continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Dimensão de Gestão

Marque com um X	7) Há a tomada de decisão fundamentada em dados?
	a) Não há tomada de decisão fundamentada em dados
	b) A decisão é tomada parcialmente fundamentada em dados
	d) A tomada de decisão é fundamentada em dados, definida e realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) A tomada de decisão é fundamentada em dados e gerenciada quantitativamente controlada por meio de técnicas estatísticas
x	e) A tomada de decisão é fundamentada em dados, gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	8) Os processos são planejados adequadamente?
	a) Não há planejamento dos processos
	b) Os processos são parcialmente planejados
	c) Os processos são planejados, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
	d) Os processos são planejados adequadamente e gerenciados quantitativamente.
x	e) Os processos são planejados adequadamente, gerenciados quantitativamente e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	9) Os processos são implementados adequadamente?
	a) Não há implementação dos processos
	b) Os processos são parcialmente implementados
	c) Os processos são implementados, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
	d) Os processos são implementados adequadamente e gerenciados quantitativamente.
x	e) Os processos são implementados adequadamente, gerenciados quantitativamente e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	10) Os processos são bem compreendidos por todos?
	a) Os processos não são bem compreendidos por todos
	b) Os processos são parcialmente compreendidos
	c) Os processos são bem compreendidos, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
	d) Os processos são bem compreendidos por todos e gerenciados quantitativamente.
x	e) Os processos são bem compreendidos por todos, gerenciados quantitativamente e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	11) Os processos são bem descritos?
	a) Os processos não são bem descritos
	b) Os processos são parcialmente descritos
	c) Os processos são bem descritos, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
	d) Os processos são bem descritos e gerenciados quantitativamente.
x	e) Os processos são bem descritos, gerenciados quantitativamente e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	12) Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual?
	a) Os processos não são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual
	b) Os processos são parcialmente gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual
	c) Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
x	d) Os processos são gerenciados quantitativamente de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual
	e) Os processos são gerenciados quantitativamente de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	13) Os processos são gerenciados de forma inovadora?
	a) Os processos não são gerenciados de forma inovadora
	b) Os processos são parcialmente gerenciados de forma inovadora
x	c) Os processos são gerenciados de forma inovadora, definidos e realizados a partir de processos-padrão da organização.
	d) Os processos são gerenciados quantitativamente de forma inovadora
	e) Os processos são gerenciados quantitativamente de forma inovadora e otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	14) Há uma abordagem formalizada e estruturada de gestão?
	a) Não há abordagem formalizada e estruturada de gestão
	b) A abordagem de gestão é parcialmente formalizada e estruturada
	c) A abordagem de gestão é formalizada, estruturada e realizada a partir de processos-padrão da organização.
x	d) A abordagem de gestão é formalizada, estruturada e gerenciada quantitativamente
	e) A abordagem de gestão é formalizada, estruturada, gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	15) Há uma Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade?
	a) Não há abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade
	b) A abordagem de melhoria da qualidade é parcialmente formalizada e estruturada
	c) A abordagem de melhoria da qualidade é formalizada, estruturada e realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) A abordagem de melhoria da qualidade é formalizada, estruturada e gerenciada quantitativamente
x	e) A abordagem de melhoria da qualidade é formalizada, estruturada, gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	16) A empresa mensura de forma abrangente os processos?
	a) Não há mensuração abrangente dos processos
	b) A empresa parcialmente mensura de forma abrangente os processos
	c) A empresa mensura de forma abrangente os processos a partir de processos-padrão da organização.
	d) A empresa mensura de forma abrangente e gerenciada quantitativamente os processos
x	e) A empresa mensura de forma abrangente e gerenciada quantitativamente os processos bem como otimiza continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	17) A empresa analisa de forma abrangente os processos?
	a) Não há análise abrangente dos processos
	b) A empresa parcialmente analisa de forma abrangente os processos
	c) A empresa analisa de forma abrangente os processos a partir de processos-padrão da organização.
	d) A empresa analisa de forma abrangente e gerenciada quantitativamente os processos
x	e) A empresa analisa de forma abrangente e gerenciada quantitativamente os processos bem como otimiza continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Dimensão Tecnológica

Marque com um X	18) O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia?
	a) O processo não é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia
	b) O processo é parcialmente orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia
	c) O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia, definido e realizado a partir de processos-padrão da organização.
	d) O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia e gerenciado quantitativamente
x	e) O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia, gerenciada quantitativamente e otimizado continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	19) Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0?
	a) Não há CLM e/ou CLQ com o uso das tecnologias da Indústria 4.0
	b) A empresa parcialmente utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 no CLM e/ou CLQ
x	c) A empresa utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 no CLM e/ou CLQ a partir de processos-padrão da organização.
	d) A empresa utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 no CLM e/ou CLQ e as gerenciada quantitativamente
	e) A empresa utiliza as tecnologias da Indústria 4.0 no CLM e/ou CLQ, gerencia quantitativamente e otimiza continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	20) Há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas?
	a) Não há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas
	b) Há parcialmente interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas
	c) Há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas e é realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas e é gerenciada quantitativamente
x	e) Há interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas, é gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Assinale o Nível de utilização das tecnologias da Indústria 4.0 nos processos de gestão e avaliação da qualidade

	Não se aplica	1	2	3	4	5
Códigos QR e RFID e sensores		x				
Computação em nuvem			x			
Big Data				x		
Aprendizado de Máquina	x					
Aprendizado Profundo				x		
Inteligência Artificial		x				
Ciência de dados			x			
Blockchain	x					
Manufatura aditiva	x					
Realidade Aumentada	x					

Dimensão de Integração

Marque com um X	21) Há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados?
	a) Não há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados
	b) Há parcialmente utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados
x	c) Há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados é realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados e é gerenciada quantitativamente
	e) Há utilização de softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados, é gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	22) Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída?
	a) Não há integração entre os processos de gestão da qualidade e outros processos da organização
	b) Há parcialmente integração entre os processos de gestão da qualidade e outros processos da organização
x	c) Há integração entre os processos de gestão da qualidade e outros processos e é realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há integração entre os processos de gestão da qualidade e outros processos e é gerenciada quantitativamente
	e) Há integração entre os processos de gestão da qualidade e outros processos, é gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

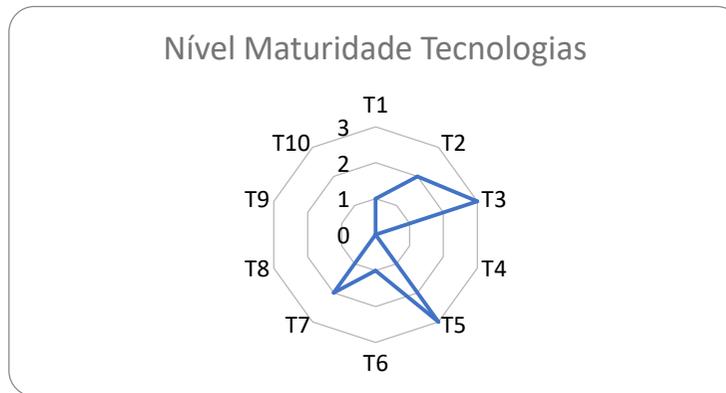
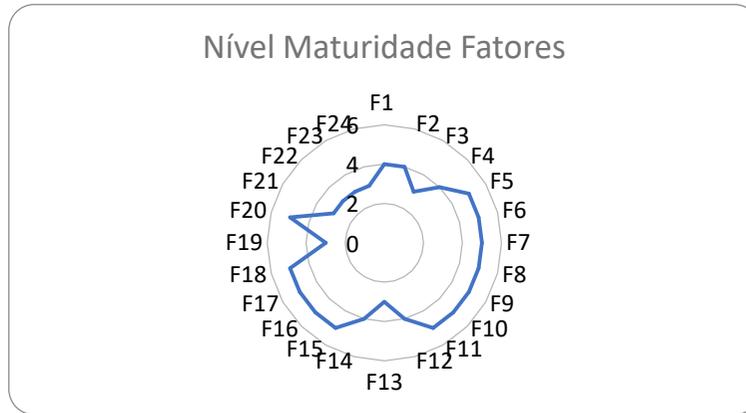
Marque com um X	23) Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.
	a) Não há integração horizontal que permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.
	b) Há parcialmente integração horizontal que permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.
x	c) Há integração horizontal e é realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há integração horizontal e é gerenciada quantitativamente
	e) Há integração horizontal, é gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Marque com um X	24) Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção
	a) Não há integração vertical na qual as tecnologias da Qualidade 4.0 estão presentes em todos os processos da cadeia de produção
	b) Há parcialmente integração vertical na qual as tecnologias da Qualidade 4.0 estão presentes em todos os processos da cadeia de produção
x	c) Há integração vertical e é realizada a partir de processos-padrão da organização.
	d) Há integração vertical e é gerenciada quantitativamente
	e) Há integração vertical, é gerenciada quantitativamente e otimizada continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.

Dimensão		Fatores-chave de Maturidade da Qualidade 4.0	Nível de Maturidade atual					Nível de Maturidade Atual	Nível de Importância no Contexto Brasileiro	Nível de prioridade	
			Não se aplica	1	2	3	4				5
Dimensão Cultural	F1	Engajamento dos colaboradores nos processos		0	0	0	x	0	4	5,00	5
	F2	Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade		0	0	0	x	0	4	5,00	5
	F3	Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados		0	0	x	0	0	3	4,00	4
	F4	A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0		0	0	0	x	0	4	5,00	5
	F5	Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	F6	Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	MD1	Nível de Maturidade da Dimensão Cultural			3,0						
Dimensão de gestão	F7	Tomada de decisão fundamentada em dados		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	F8	Os processos são planejados adequadamente		0	0	0	0	x	5	4,00	4
	F9	Os processos são implementados adequadamente		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	F10	Os processos são bem compreendidos por todos		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	F11	Os processos são bem descritos		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	F12	Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o		0	0	0	x	0	4	5,00	5
	F13	Os processos são gerenciados de forma inovadora.		0	0	x	0	0	3	4,00	4
	F14	Abordagem formalizada e estruturada de gestão		0	0	0	x	0	4	4,00	4
	F15	Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade		0	0	0	0	x	5	4,00	4
	F16	A empresa mensura de forma abrangente os processos		0	0	0	0	x	5	4,00	4
	F17	A empresa analisa de forma abrangente os processos		0	0	0	0	x	5	4,00	4
MD2	Nível de Maturidade da Dimensão de Gestão			3,0							

Dimensão Tecnológica	F18	O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de		0	0	0	0	x	5	4,00	4
	F19	Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das		0	0	x	0	0	3	4,00	4
	F20	Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas		0	0	0	0	x	5	5,00	5
	T1	tecnologias de detecção como códigos QR e RFID e sensores	0	x	0	0	0	0	1	4,00	4
	T2	Computação em nuvem	0	0	x	0	0	0	2	4,00	4
	T3	Big Data	0	0	0	x	0	0	3	4,00	4
	T4	Aprendizado de Máquina	x	0	0	0	0	0		4,00	4
	T5	Aprendizado Profundo	0	0	0	x	0	0	3	4,00	4
	T6	Inteligência Artificial	0	x	0	0	0	0	1	4,00	4
	T7	Ciência de dados	0	0	x	0	0	0	2	4,00	4
	T8	Blockchain	x	0	0	0	0	0		3,00	3
	T9	Manufatura aditiva	x	0	0	0	0	0		4,00	4
	T10	Realidade Aumentada	x	0	0	0	0	0		3,00	3
	MD3	Nível de Maturidade dos fatores Dimensão de Tecnológica			1,0						
MT3	Nível de Maturidade das Tecnologias			1,0							
Dimensão de Integração	F21	Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados		0	0	x	0	0	3	4,00	4
	F22	Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros		0	0	x	0	0	3	5,00	5
	F23	Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o		0	0	x	0	0	3	5,00	5
	F24	Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os		0	0	x	0	0	3	5,00	5
	MD4	Nível de Maturidade da Dimensão de Integração			3,0						

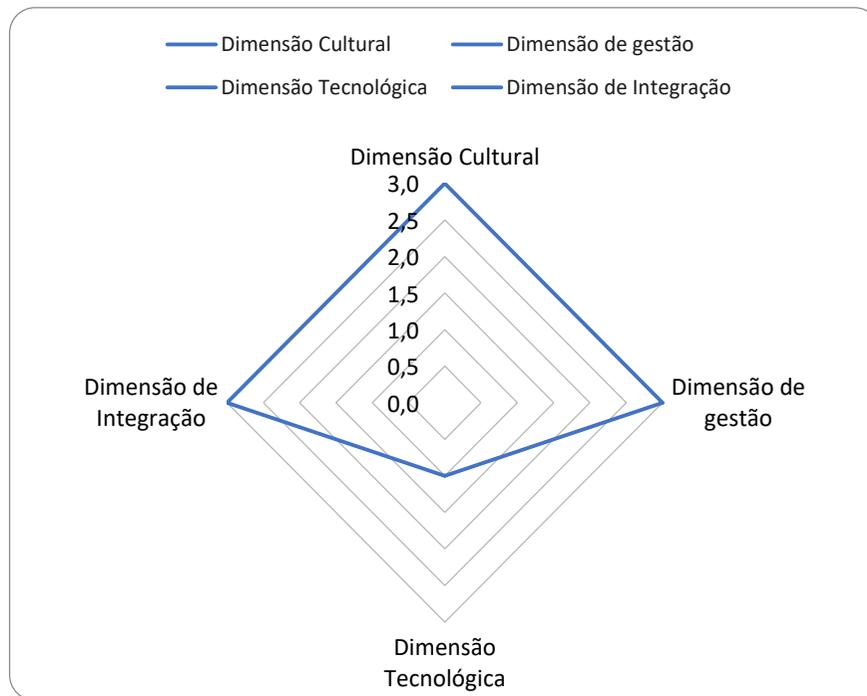
Fator	Nível Maturidade
F1	4
F2	4
F3	3
F4	4
F5	5
F6	5
F7	5
F8	5
F9	5
F10	5
F11	5
F12	4
F13	3
F14	4
F15	5
F16	5
F17	5
F18	5
F19	3
F20	5
F21	3
F22	3
F23	3
F24	3



Tecnologias	Nível Maturidade
T1	1
T2	2
T3	3
T4	
T5	3
T6	1
T7	2
T8	
T9	
T10	

Nível Maturidade Dimensões	
3,0	Dimensão Cultural
3,0	Dimensão de gestão
1,0	Dimensão Tecnológica
3,0	Dimensão de Integração

Nível Maturidade Geral	
2,5	Maturidade Geral



Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta	
Engajamento dos colaboradores nos processos	F1	5	1	Estruturar e Implementar	1. F1 – Engajamento dos colaboradores 1.1. Melhoria Proposta: Desenvolvimento de um plano de aumento de engajamento focado nos processos. 1.2. Fonte: Adaptado de (SCHAUFELI; SALANOVA, 2010). 1.3. Ações: Recomenda-se um plano de aumento de engajamento focado nos processos composto pelos itens abaixo.
			2	Padronizar	1.3.1. Diagnóstico da Situação atual Primeiramente, busca-se realizar um diagnóstico para verificar a atual situação da empresa relacionada ao nível de engajamento dos colaboradores nos processos. 1.3.2. Avaliação do colaborador Posteriormente, sugere-se o desenvolvimento de um contrato psicológico que envolve (i) avaliação de valores, preferências e objetivos pessoais e profissionais do funcionário; (ii) negociação e redação de um contrato escrito (Acordo de Desenvolvimento do Empregado) que garanta os recursos necessários da organização para atingir metas pessoais significativas; e (iii) monitoramento periodicamente deste acordo escrito em termos de cumprimento de metas.
			3	Gerenciar Quantitativamente	1.3.3. Auditorias periódicas de bem-estar no trabalho Esta ação visa avaliar fatores de estresse, como sobrecarga de trabalho, conflitos, problemas de função, demandas emocionais, interferência trabalho-casa, burnout. Também busca-se considerar recursos do trabalho, com ênfase em feedback, apoio social, controle do trabalho, desenvolvimento de carreira, engajamento, depressão, absenteísmo, rotatividade, satisfação no trabalho, comprometimento organizacional
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	1.3.4. Oficinas de engajamento no trabalho Aqui investe-se em Círculo de Controle de Qualidade (CCQ) visando o aprimoramento de recursos pessoais, como habilidades cognitivas, comportamentais e sociais (por exemplo, pensamento positivo, estabelecimento de metas, gerenciamento de tempo e melhoria do estilo de vida).
			5	Manter	1.3.5. Reestruturação do Layout Busca-se, aqui, reduzir a exposição a riscos psicossociais e aumentar a motivação dos funcionários. 1.3.6. Liderança Aqui considera-se que líderes estabelecerem um clima organizacional positivo e motivador, caracterizado por justiça, confiança, abertura e solução construtiva de problemas 1.3.7. Treinamentos Esta ação visa estruturar treinamentos para capacitação dos colaboradores e aumentar sua empregabilidade.
Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade	F2	5	1	Estruturar e Implementar	2. F2 – Engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade 2.1. Melhoria Proposta: Plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua. 2.2. Fonte: Adaptado de VAN ASSEN, 2021
			2	Padronizar	2.3. Ações: Propõe-se; um plano de treinamento e envolvimento dos funcionários na melhoria contínua composto pelos itens abaixo.
			3	Gerenciar Quantitativamente	2.3.1. Diagnóstico da Situação atual Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual nível de engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	2.3.2. Realização de treinamentos Após a identificação da situação do engajamento dos colaboradores na melhoria da qualidade e suas causas, propõe-se elaborar e aplicar treinamentos direcionados às respectivas lacunas encontradas. Esse treinamento é necessário para desenvolver a participação dos funcionários na melhoria da qualidade e dos processos. Recomenda-se que os funcionários tenham acesso a todas as informações, habilidades e competências relevantes para se envolver em atividades de melhoria da qualidade. Também é importante que se tenha uma visão abrangente em relação aos erros, vendo-os não como fracassos, mas como oportunidades de aprendizado, melhorias e inovação.
			5	Manter	
Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados	F3	4	1	Estruturar e Implementar	3. F3 – Aprendizado contínuo por meio de uma visão abrangente da ciência de dados 3.1. Melhoria Proposta: Plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados 3.2. Fonte: Adaptado de BELINSKI, et al., 2020
			2	Padronizar	3.3. Ações: Sugere-se; um plano de aprendizado contínuo com base na ciência de dados composto pelos itens abaixo.
			3	Gerenciar Quantitativamente	3.3.1. Diagnóstico da Situação atual Primeiramente, é fundamental verificar se os colaboradores estão aprendendo continuamente a utilizar as novas tecnologias da Indústria 4.0 por meio da análise do estado atual.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	3.3.2. Programas de treinamento Com o diagnóstico realizado, recomenda-se estruturar um plano de aprendizado contínuo na empresa alinhado às exigências das novas tecnologias associadas à Indústria 4.0, como a impressão 3D, sistemas de assistência, realidade aumentada, automação, sistemas ciber-físicos, transformação digital, digitalização e internet das coisas. Esse sistema deve ser contínuo fomentando competências para novos aprendizados devido às constantes mudanças tecnológicas, bem como habilidades para implementar novos sistemas voltados para o aumento da eficiência industrial, como orientação para a ação, aprendizagem ativa e colaborativa, construtivismo, e-learning, aprendizagem baseada em jogos, educação prática, aprendizagem baseada em problemas, simulação e aprendizagem baseada no trabalho.
			5	Manter	
A cultura organizacional apoia o sistema de gestão da qualidade na I4.0	F4	5	1	Estruturar e Implementar	4. F4 – A cultura organizacional em apoio ao sistema de gestão da qualidade na I4.0 4.1. Melhoria Proposta: Plano de aprimoramento da Cultura Organizacional 4.2. Fonte: Adaptado de GROYSBERG et al. 2018
			2	Padronizar	4.3. Ações: Recomenda-se um plano de aprimoramento da cultura organizacional composto por:
			3	Gerenciar Quantitativamente	4.3.1. Análise da situação atual: Os líderes devem entender quais resultados a cultura produz e como ela se alinha ou não com as condições de mercado e negócios atuais e previstas relacionadas à Qualidade 4.0.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	4.3.2. Seleção e desenvolvimento de líderes: Busca-se desenvolver os líderes pois eles são importantes catalisadores da mudança, incentivando-a em todos os níveis e criando um clima seguro. Esse desenvolvimento tem por finalidade um maior entendimento da relevância, os benefícios e impactos pessoais e organizacionais que a Qualidade 4.0 poderá proporcionar.
			5	Manter	4.3.3. Realização de alinhamentos periódicos: Busca-se realizar discussões em grupo estruturadas para que os colaboradores conheçam os novos resultados que a Qualidade 4.0 proporcionará, criando assim um ciclo de feedback positivo. 4.3.4. Realização de treinamentos: Realizar treinamentos e gerenciar o desempenho para reforçar a cultura orientada à Qualidade 4.0, reforçando comportamentos adequados à cultura almejada.

Fator-chave		Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0	F5	5	1	Estruturar e Implementar	<p>5. F5 – Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0</p> <p>5.1. Melhoria Proposta: Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0</p> <p>5.2. Fonte: Adaptado de DONG; NEUFEL; HIGGINS, 2009</p> <p>5.3. Ações: Sugere-se um Plano de Suporte da alta administração orientado à Qualidade 4.0 composto pelos itens abaixo.</p> <p>5.3.1. Análise da situação atual Consiste na análise da atual situação relacionada ao apoio da alta administração da empresa para a adoção da Qualidade 4.0.</p> <p>5.3.2. Elaboração de Estratégias Recomenda-se elaborar estratégias para aumentar o envolvimento direto da alta administração com a Qualidade 4.0, como por exemplo adoção de compromissos documentados de fomento à Qualidade 4.0, publicitando ativamente ações de apoio como feedback, abordar as preocupações e dúvidas dos colaboradores, participação em capacitações e treinamentos, entre outros.</p> <p>5.3.3. Fornecimento de Recursos Fornecer os recursos necessários como suporte de TI, treinamentos, para que possam dominar efetivamente as novas tecnologias e processos e aplicá-los em seus trabalhos.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional	F6	5	1	Estruturar e Implementar	<p>6. F6 – Aprendizado contínuo adequado à cultura organizacional</p> <p>6.1. Melhoria Proposta: Plano de aumento de aprendizado contínuo</p> <p>6.2. Fonte: Adaptado de BASTEN; HAAMANN, 2018</p> <p>6.3. Ações: Propõe-se um Plano de aumento de aprendizado contínuo composto pelos itens abaixo.</p> <p>6.3.1. Análise da situação atual A primeira ação se refere a verificar se o aprendizado contínuo está adequado à cultura organizacional. Com isso, o plano de aumento de aprendizado contínuo pode ser elaborado conforme os seguintes itens.</p> <p>6.3.2. Modelo de resolução de problemas Resolução sistemática de problemas por meio de métodos científicos fundamentados em dados e não em suposições para diagnosticar problemas, gerar e testar hipóteses. Para isso, sugere-se o uso de ferramentas de Gestão Operacional da Qualidade, como gráficos de controle, diagramas de causa-efeito, histogramas; folhas de checagem, gráficos de Pareto, entre outras.</p> <p>6.3.3. Programa de experimentação Busca sistemática de novos conhecimentos por meio de programas contínuos e projetos de pesquisa e desenvolvimento. Os programas contínuos visam reunir conhecimento incremental por meio de uma série contínua de pequenos experimentos, com novas ideias e incentivos para assumir riscos. Já os projetos concentram mudanças em todo o sistema para desenvolver capacidades organizacionais ou incorporar princípios que as organizações pretendem adotar de forma holística.</p> <p>6.3.4. Programa de aprendizagem de experiências Adotar uma abordagem retrospectiva para avaliar sistematicamente e aprender com as experiências passadas. As lições aprendidas precisam ser armazenadas e acessíveis abertamente aos membros da organização, considerando tanto os sucessos como os fracassos.</p> <p>6.3.5. Programa de Benchmarking Envolve a busca de melhores práticas com o objetivo de derivar recomendações com base em comparações ponderadas com outras organizações.</p> <p>6.3.6. Programa de transferência de conhecimento Busca disseminar conhecimento de modo rápido e eficientemente para toda a organização, por meio de relatórios escritos, orais e visuais, bem como cursos e treinamentos.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta	
Tomada de decisão fundamentada em dados	F7	5	1	Estruturar e Implementar	7. F7 – Tomada de decisão fundamentada em dados 7.1. Melhoria Proposta: Plano de tomada de decisão fundamentada em dados 7.2. Fonte: Adaptado de GILL; BORDEN; HALLGREN, 2014; PROVOST; FAWCETT, 2013
			2	Padronizar	7.3. Ações: Recomenda-se um plano de tomada de decisão fundamentada em dados composta por: 7.3.1. Análise da situação atual Busca-se realizar um diagnóstico para verificar se os dados estão sendo utilizados como base para a tomada de decisão.
			3	Gerenciar Quantitativamente	7.3.2. Estruturação dos dados Estruturar a infraestrutura de suporte de dados.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	7.3.3. Definição dos dados Definir os dados que serão relevantes para o tomador de decisão
			5	Manter	7.3.4. Cultura de uso de dados Estabelecer uma cultura de uso de dados para a tomada de decisão de modo a garantir que os dados sejam utilizados adequadamente e não sejam arquivados e esquecidos. Um dos aspectos mais críticos é o suporte do pensamento analítico de dados. A habilidade de pensar de forma analítica de dados é importante não apenas para o cientista de dados, mas para toda a organização. Por exemplo, gerentes e funcionários de linha em outras áreas funcionais só obterão o melhor dos recursos de ciência de dados da empresa se tiverem algum entendimento básico dos princípios fundamentais.
Os processos são planejados adequadamente	F8	4	1	Estruturar e Implementar	8. F8 – Planejamento adequado dos processos 8.1. Melhoria Proposta: Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0 8.2. Fonte: Adaptado de TRSTENJAK et. al., 2020
			2	Padronizar	8.3. Ações: Recomenda-se um Plano de Planejamento de Processos na Indústria 4.0 composto por: 8.3.1. Análise da situação atual Consiste na análise da atual situação para verificar se os processos são planejados adequadamente.
			3	Gerenciar Quantitativamente	8.3.2. Métodos de planejamento de processos Recomenda-se realizar um Planejamento de processos assistido por computador (CAPP) fundamentado nos resultados da análise de big data e modelos matemáticos preditivos. Esse sistema permite uma maior racionalização do processo, produtividade, legibilidade e integração com outros softwares. De acordo com a realidade da Indústria, pode-se utilizar o Planejamento variante, o Planejamento generativo interativo, o Planejamento generativo automático ou o Planejamento híbrido. Na abordagem variante, para um único produto, são identificadas as semelhanças dos processos atuais com os produzidos anteriormente, o que implica que o novo produto pode ser produzido usando processos de fabricação semelhantes ou mesmo idênticos. Em termos de Indústria 4.0, isso requer o desenvolvimento de grandes bancos de dados, bem como algoritmos especiais de reconhecimento de recursos (métodos de classificação) para permitir o agrupamento de famílias de produtos.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	Já a abordagem de planejamento generativa interativa, não é necessário obter referências dos processos de produção dos produtos fabricados anteriormente. Para isso, ele requer o uso de algoritmos, lógica de decisão, fórmulas e dados baseados em geometria para executar decisões de processamento únicas, desde a matéria-prima até o estado do produto acabado. É um sistema que sintetiza as informações do processo para criar um plano de processo para um novo componente automaticamente, com pouca intervenção humana. A lógica de decisão e os sistemas avançados de suporte à decisão são partes essenciais da abordagem generativa, que pode ser estendida posteriormente, para gêmeos digitais da Indústria 4.0.
			5	Manter	E, por fim, a abordagem híbrida consiste na combinação da variante e da generativa, na qual a peça de trabalho é associada a uma família, que é descrita pela base de dados de conhecimento que contém todas as possibilidades de fabricação do produto em questão.
Os processos são implementados adequadamente	F9	5	1	Estruturar e Implementar	9. F9 – Implementação adequada dos processos 9.1. Melhoria Proposta: Plano de Implementação
			2	Padronizar	9.2. Fonte: Adaptado de CABANILLAS; RESINAS; CORTÉS, 2011
			3	Gerenciar Quantitativamente	9.3. Ações: Recomenda-se um Plano de implementação de Processos composto por: 9.3.1. Análise da situação atual Diagnosticar como estão sendo implementados os processos na empresa.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	9.3.2. Plano de implementação de Processos Recomenda-se desenvolver um plano de implementação com base na matriz RACI (Responsável, Autoridade, Consultado e Informado). A matriz RACI é uma ferramenta usada para definir papéis e responsabilidades em um projeto ou processo. Ela ajuda a esclarecer quem é responsável por cada tarefa, quem deve ser consultado, informado ou tomador de decisão. Mais especificamente, o Responsável é a pessoa encarregada de executar e concluir o processo. Já a Autoridade é a pessoa que é designada para a tomada de decisões e aprovação, a qual, em geral, possui cargo de liderança. O consultado é o indivíduo ou equipe que deve fornecer informações, ideias ou orientações para a tarefa. E, por fim, informado é a pessoa ou equipe que precisa ser informada sobre o andamento da tarefa, mas não precisa ser consultada ou ter responsabilidade pela conclusão dela.
			5	Manter	
Os processos são bem compreendidos por todos	F10	5	1	Estruturar e Implementar	10. F10 – Compreensão dos processos por todos 10.1. Melhoria Proposta: Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0
			2	Padronizar	10.2. Fonte: Adaptado de NORTH; KUMTA, 2020
			3	Gerenciar Quantitativamente	10.3. Ações: Recomenda-se um Programa de Gestão do Conhecimento da Qualidade 4.0 composto por: 10.3.1. Análise da situação atual Diagnosticar a situação atual das competências e conhecimentos dos colaboradores em relação à Qualidade 4.0.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	10.3.2. Definição do conhecimento necessário Determinar o conhecimento e competências necessárias para uma melhor compreensão dos processos relacionados à Qualidade 4.0.
			5	Manter	10.3.3. Treinamentos Realizar treinamentos para uma melhor compreensão dos processos, por meio de cursos, coaching, mentorias, e-learning, benchmarking etc. 10.3.4. Compartilhamento do conhecimento Busca-se compartilhar o conhecimento adquirido por meio de sistemas de incentivo que promovam a troca e o aprimoramento do aprendizado. 10.3.5. Documentar e padronizar Busca-se documentar e padronizar o processo de gestão do conhecimento da Qualidade 4.0

Fator-chave		Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
Os processos são bem descritos	F11	5	1	Estruturar e Implementar	<p>11. F11 -- Descrição adequada dos processos</p> <p>11.1. Melhoria Proposta: Plano de Mapeamento de Processos</p> <p>11.2. Fonte: Adaptado de AL-FEDAGHI; MOHAMAD, 2019</p> <p>11.3. Ações: Recomenda-se um Plano de Mapeamento de Processos composto por:</p> <p>11.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Analisar o estado atual de como os processos são descritos na empresa, buscando compreender as configurações organizacionais, funções departamentais e inter-relações</p> <p>11.3.2. Mapeamento de Processos</p> <p>Após a análise de situação atual, recomenda-se um mapeamento de processos fundamentado no Mapeamento de Processos de Negócios (BPM) e Thinking Machine (TM). Busca-se uma representação esquemática de uma série de etapas que ocorrem em um determinado processo, descrevendo de forma clara as funções, responsabilidades e padrões. Neste mapeamento poderão constar os itens que são necessários para o início do processo (matérias-primas, equipamentos, informações, recursos humanos, infraestrutura), e as saídas, considerando a priorização de processos que influenciam na geração final de valor do modelo de negócio da empresa.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual	F12	5	1	Estruturar e Implementar	<p>12. F12 -- Os processos são gerenciados de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual</p> <p>12.1. Melhoria Proposta: Gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup</p> <p>12.2. Fonte: Adaptado de SILVA et al., 2020</p> <p>12.3. Ações: Recomenda-se um Plano de gerenciamento por meio dos princípios do Lean Startup composto por:</p> <p>12.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Analisar o estado atual de como os processos são gerenciados e se estão sendo ajustados dinamicamente de acordo com as possíveis flutuações do mercado.</p> <p>12.3.2. Gerenciamento por meio do ciclo Construir-Medir-Aprender</p> <p>Recomenda-se gerenciar os processos de forma dinâmica ajustados de acordo com o momento atual por meio dos princípios Construir - Medir - Aprender do Lean Startup. Dessa forma, é possível o desenvolvimento de um produto ou serviço por meio de ciclos rápidos de validação de hipóteses de mensuração das métricas do consumidor e aprender com elas para responder melhor às necessidades do cliente e melhorar e otimizar a estratégia da empresa. Para essa fase, é importante analisar se os processos estão sendo gerenciados de acordo com a atual situação do mercado e da empresa, por meio de testes de hipóteses. Ao final do processo, pode-se dar continuidade da iniciativa ou realizar "pivotagem", que é acompanhada de um reposicionamento estratégico. Recomenda-se sempre documentar cada ciclo do Construir - Medir - Aprender. Os principais benefícios são processos mais simplificados, Baixo custo, Aprendizado constante, Adaptabilidade e Incentivo à inovação.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Os processos são gerenciados de forma inovadora.	F13	4	1	Estruturar e Implementar	<p>13. F13 -- Gerenciamento dos processos de forma inovadora</p> <p>13.1. Melhoria Proposta: Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura</p> <p>13.2. Fonte: Adaptado de HOFER et al, 2020</p> <p>13.3. Ações: Recomenda-se um Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura composto por:</p> <p>13.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Analisar o estado atual dos processos, visando verificar se estão sendo gerenciados de modo inovador.</p> <p>13.3.2. Gerenciamento de Ciclos de Inovação em Sistemas de Manufatura</p> <p>Propõe-se aplicar o gerenciamento de ciclos de inovação para sistemas de manufatura. A estrutura cíclica inicia-se na Fase de Impulso. Esta fase consiste na identificação das tendências de inovação, sendo os impulsos gerados de forma interna ou externa. Os externos são relacionados a tendências fora da organização, como novos requisitos legais, ambiente de negócios e avanços tecnológicos. Já os internos iniciam-se de iniciativas de melhorias contínuas internas.</p> <p>Posteriormente, vem a fase de ideação, na qual é avaliado o potencial da tecnologia considerando o ponto de vista técnico, econômico e estratégico da empresa. Em seguida, essa fase é sucedida pela fase de conceito. Nela, são desenvolvidos métodos e protótipos para utilização desta inovação. Nesta fase, testes, prototipagem e simulação em diferentes cenários são realizados visando reduzir futuras falhas e fornecer um ambiente seguro para a inovação.</p> <p>Após a ideação, é iniciada a fase da mudança. Nesta fase são executados o planejamento da integração e a implementação operacional das inovações. E, por fim, é realizada a fase de Produção em série, com a finalidade de buscar a gestão da inovação com foco na identificação de demandas tecnológicas e gargalos de processos para aprimorar o sistema fabril existente, orientada à gestão da melhoria contínua e inovação incremental do sistema de fabricação.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Abordagem formalizada e estruturada de gestão	F14	4	1	Estruturar e Implementar	<p>14. F14 -- Abordagem formalizada e estruturada de gestão</p> <p>14.1. Melhoria Proposta: Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0</p> <p>14.2. Fonte: Adaptado de SAXBY; CANO-KOUROUKLIS; VIZA, 2020</p> <p>14.3. Ações: Sugere-se um Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0 composto por:</p> <p>14.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a gestão da empresa.</p> <p>14.3.2. Plano de Gestão fundamentado no Lean Management para Indústria 4.0</p> <p>Recomenda-se uma abordagem com elementos de suporte do Lean para a Indústria 4.0 como Melhoria Contínua, Engajamento da Cadeia de Suprimentos, Sistemas Puxados e Foco no Cliente. Assim, busca-se fluxo através da eliminação de desperdício e atividades desnecessárias fundamentado nos princípios de agregação de valor ao cliente em todas as fases produtivas, mapeamento do fluxo de valor, fluxo contínuo (sem significativas esperas), sistema de produção puxada (sem excesso de produção e estoque) e melhoria contínua dos processos.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta	
Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade	F15	4	1	Estruturar e Implementar	15. F15 -- Abordagem formalizada e estruturada de melhoria da qualidade 15.1. Melhoria Proposta: Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0) 15.2. Fonte: Adaptado de Souza et al, 2022 15.3. Ações: Indica-se um Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0) composto por:
			2	Padronizar	15.3.1. Análise da situação atual Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a gestão da melhoria da qualidade. 15.3.2. Plano de Melhorias fundamentadas na Gestão da Qualidade Total na Indústria 4.0 (TQM 4.0) Recomenda-se realizar melhorias fundamentadas na TQM 4.0, considerando a integração entre tecnologia, qualidade e pessoas no cenário industrial, criando um ambiente de colaboração, integração e interconexão.
			3	Gerenciar Quantitativamente	15.3.3. Indústria 4.0 e Tecnologias Utilizar as diversas inovações em tecnologias e automação, presentes na I4.0 visando a melhoria da qualidade, focando em um modelo digital de inspeção da qualidade por variáveis. Pode-se utilizar o bigdata para uma melhor utilização das várias plataformas de análise e visualização de dados disponíveis no I4.0. Essa iniciativa pode auxiliar na descentralização da gestão da qualidade, como por exemplo a facilidade de monitoramento de indicadores de qualidade por meio de plataformas.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	15.3.4. TQM Em se tratando de TQM, o principal atributo destacado será a união das diversas técnicas e filosofias de gestão voltadas para a qualidade, que por sua vez também englobam a envolvimento das pessoas no processo. A partir do acompanhamento dos indicadores por meio de plataformas tecnológicas de visualização de dados, torna-se possível o monitoramento em tempo real.
			5	Manter	15.3.5. Pessoas A melhoria da qualidade deve ser inserida na cultura organizacional. A análise de dados pode ser mais bem utilizada quando combinada com percepções humanas de experiências com cenários anteriores. Além disso, a tomada de decisão final é ainda melhor aceita quando vem de um ser humano. Nesse contexto, é interessante ressaltar que as competências humanas também precisam se adequar às tecnologias I4.0.
A empresa mensura de forma abrangente os processos	F16	4	1	Estruturar e Implementar	16. F16 -- Mensuração abrangente dos processos 16.1. Melhoria Proposta: Plano de mensuração e controle dos processos 16.2. Fonte: Adaptado de COHEN; SINGER, 2021 16.3. Ações: Propõe-se um Plano de mensuração e controle dos processos composto por:
			2	Padronizar	16.3.1. Análise da situação atual Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a mensuração dos processos. 16.3.2. Plano de mensuração e controle dos processos Recomenda-se a digitalização da mensuração e controle dos processos centralizado em um único controlador, permitindo o autodiagnóstico, auto prognóstico e autocorreção, por meio da aplicação de Sistema Ciber Físico nos seguintes 4 Módulos:
			3	Gerenciar Quantitativamente	16.3.3. Módulo de Controle e Conscientização Consiste na execução do controle e ajustes contínuos do processo, bem como aprendizado de máquina (ML) e controle estatístico do processo (SPC) para identificar anormalidades que requerem diagnóstico adicional.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	16.3.4. Módulo de diagnóstico do processo Refere-se a realizar análises contínuas (recorrentes) do estado e tendências do processo 16.3.5. Módulo de Prognóstico e Recuperação Busca-se executar o prognóstico e intervenção automatizada por meio de alterações de parâmetros, reconfigurações e manutenção automatizada;
			5	Manter	16.3.6. Plataforma de Interação Externa Consiste em módulo interativo para interface com especialistas, apresentando-lhes as informações de análise do processo e obtendo feedback deles como parte de um processo de aprendizagem.
A empresa analisa de forma abrangente os processos	F17	4	1	Estruturar e Implementar	17. F17 -- Análise de forma abrangente dos processos 17.1. Melhoria Proposta: Plano de Análise de Processos com base em BPM 17.2. Fonte: Adaptado de STEINER et al 2019; CBOK 2009 17.3. Ações: Prescreve-se um Plano de Análise de Processos composto por:
			2	Padronizar	17.3.1. Análise da situação atual Inicialmente, busca-se realizar um diagnóstico do atual de como está sendo a análise dos processos. 17.3.2. Plano de Análise de Processos Recomenda-se um plano de análise de processos para um maior entendimento das atividades e seus respectivos resultados à capacidade de atender as metas. O objetivo é identificar gargalos, desperdícios e ineficiências, bem como oportunidades de melhoria, de modo a aumentar a eficácia e a eficiência dos processos.
			3	Gerenciar Quantitativamente	Assim, poderão ser analisadas a estratégia, metas e objetivos da organização, o contexto do processo frente ao ambiente de negócio, as entradas, saídas, fornecedores, clientes e demais partes envolvidas, os papéis e handoffs de cada área funcional no processo, as métricas de desempenho para monitoramento do processo, as oportunidades identificadas para obter uma maior eficiência e eficácia etc.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	De modo mais específico, para analisar os processos, é fundamental o entendimento holístico dos processos de negócio, podendo ser realizado por benchmarking e/ou análise SWOT. Posteriormente, é importante delimitar o escopo da análise, considerando os objetivos e resultados desejados na análise. Para uma análise bem-sucedida, propõe-se envolver pessoas de diferentes áreas como gerentes, analistas e especialistas. Além disso, recomenda-se analisar os handoffs, pois quando menor for os pontos em um processo nos quais o trabalho ou a informação passa de uma função para outra, mais eficiente será o processo. No caso de processos automatizados, prescreve-se a análise do fluxo de dados fluem através do sistema e como esses itens interagem. Também recomenda-se analisar o custo, o tempo de ciclo, padrões existentes, causas-raiz, sensibilidade, riscos, layout, alocação de recursos, qualidade, valor e conformidade legal.
			5	Manter	

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
O processo é orientado digitalmente visando uma sólida infraestrutura de tecnologia.	F18	4	1 Estruturar e Implementar	18. F18 -- Orientação do processo de forma digital visando uma sólida infraestrutura de tecnologia 18.1. Melhoria Proposta: Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ) 18.2. Fonte: Adaptado de KUMAR; SAHITHI; REVANTH, 2020
			2 Padronizar	18.3. Ações: Sugere-se a Implementação da Indústria da Qualidade (IoQ) composta por: 18.3.1. Análise da situação atual Consiste no diagnóstico da situação atual dos processos e sua relação com as tecnologias.
			3 Gerenciar Quantitativamente	18.3.2. Indústria da Qualidade (IoQ) O termo Indústria de Qualidade (IoQ) implica que a totalidade das pessoas na indústria, máquinas e outros elementos envolvidos na indústria devem ser direcionados para a obtenção de um produto de qualidade junto com a adoção de tecnologias avançadas. Na IoQ, deve haver um equilíbrio entre tecnologia e qualidade para que as indústrias possam aproveitar a adoção de novas tecnologias da Indústria 4.0, como por exemplo Internet das Coisas, Sistemas Ciber-físicos, Big Data e Gêmeos Digitais para reduzir os Custos da Qualidade.
			4 Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	O custo da qualidade tem um grande impacto no custo do produto e na satisfação geral do cliente. Ele pode ser dividido em custos de conformidade e custos de não-conformidade. Os custos da conformidade são recursos dispendidos na prevenção e avaliação da qualidade, como planejamento de qualidade, treinamentos, revisão de projeto, mensuração e testes dos parâmetros da qualidade, programas de melhoria da qualidade, auditorias, inspeção etc. Já os custos da não-conformidade são os valores gastos na identificação de peças defeituosas, retrabalhos, inatividade por problemas de qualidade, desperdícios (interno) bem como a perda de reputação perante o mercado, perda da participação no mercado, recall de produtos, reparos e substituições da garantia (externo).
			5 Manter	
Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0	F19	4	1 Estruturar e Implementar	19. F19 -- Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ) com o uso das tecnologias da Indústria 4.0 19.1. Melhoria Proposta: Implementação de CLQ e CLM 19.2. Fonte: Adaptado de VYKYDAL; NENADÁL, 2022
			2 Padronizar	19.3. Ações: Sugere-se a Implementação de CLQ e CLM composta por: 19.3.1. Análise da situação atual Consiste no diagnóstico da situação atual dos processos de Closed-Loop Manufacturing (CLM) e Closed-Loop Quality (CLQ).
			3 Gerenciar Quantitativamente	19.3.1. Integração de ciclos de feedback O sistema de gerenciamento de qualidade de circuito fechado é uma parte do sistema de gerenciamento geral da organização com base em princípios avançados de gerenciamento de qualidade que permite integrar, por meio de fluxos de informações abrangentes, todos os processos de gerenciamento de qualidade ou dados de desempenho com o objetivo de melhorar a qualidade organizacional. Os Ciclos de feedback Horizontais operam em um único nível organizacional e suportam a execução de diferentes processos (produção, marketing, logística, etc.). Eles devem descrever como esses processos estão sob controle. Já os ciclos de feedback Verticais integram diferentes níveis hierárquicos da organização.
			4 Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	Eles estão localizados em pelo menos dois níveis organizacionais diferentes e devem permitir a comunicação, implantação e revisão da estratégia, políticas e objetivos da organização. Esses ciclos se dividem-se em: Ciclos de feedback internos: cobrem um conjunto de informações de todos os processos e indicadores de desempenho da organização. Por exemplo, pode-se obter feedbacks a partir dos resultados de auditoria interna, contexto organizacional, informações relacionadas a equipamentos de medição que foram considerados inadequados para a finalidade a que se destinam etc.
			5 Manter	Ciclos de feedback externos: servem como ferramenta de comunicação entre os representantes das organizações e os stakeholders, como clientes, fornecedores, comunidade etc. Os fluxos de informação devem incorporar acima de tudo os requisitos e percepções das partes interessadas. Por exemplo, informações relacionadas à política de qualidade, informações fornecidas em reclamações de clientes, ciclos de controle e monitoramento de desempenho de fornecedores, etc.
Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas	F20	5	1 Estruturar e Implementar	20. F20 -- Interoperabilidade na troca de informações entre os sistemas 20.1. Melhoria Proposta: Implementação um sistema de interoperabilidade 20.2. Fonte: Adaptado de ZEID et al, 2019
			2 Padronizar	20.3. Ações: Sugere-se a Implementação um sistema de interoperabilidade composto por: 20.3.1. Análise da situação atual Consiste no diagnóstico da situação atual da interoperabilidade entre os sistemas.
			3 Gerenciar Quantitativamente	20.3.2. Sistema de Interoperabilidade Recomenda-se um sistema fundamentado em Interoperabilidade para buscar a troca contínua de informações entre os sistemas com sintaxe e semântica compreensíveis por todos os sistemas heterogêneos envolvidos.
			4 Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	20.3.3. Interoperabilidade vertical Busca-se desenvolver interoperabilidade entre dispositivos e serviços de automação de chão de fábrica. Para isso, pode-se tornar cada máquina individual interoperável com todas as outras máquinas às quais está vinculada ou integrada, comunicando-se com base em seu próprio protocolo de comunicação especificado pelo fabricante. Nesta abordagem busca-se tornar cada máquina individual interoperável com todas as outras máquinas às quais ela está vinculada ou integrada. Alcançar a interoperabilidade nesse cenário requer uma compreensão completa de sua semântica exclusiva, juntamente com a tradução de sua sintaxe devido ao protocolo de comunicação específico de cada máquina.
			5 Manter	20.3.4. Interoperabilidade horizontal Consiste em desenvolver interoperabilidade entre empresas e plataformas de serviços em nuvem, facilitando as operações descentralizadas e a tomada de decisões, por meio de operações e recursos virtualizados em plataformas de nuvem como serviços baseados em nuvem suportados pela IoT, computação em nuvem e sistemas ciber-físicos. Para isso, pode-se utilizar o Interoperable Cloud-based Manufacturing System (ICMS), composto pelas camadas de recursos de manufatura, de serviço virtual, de serviço global e de aplicação. A camada de recursos de manufatura combina os sistemas de manufatura atuais em partes que podem ser utilizados pelo usuário incorporando a linguagem de controle de máquina-ferramenta STEP-NC. A camada de serviço virtual mantém registros dos serviços que estão sendo solicitados, garantindo segurança e privacidade. Já a camada de serviço global garante que a empresa tenha controle sobre os serviços e fornece meios para realizar análises no diagnóstico do serviço oferecido. E, por fim, a camada de aplicação fornece uma interface para o ICMS que o usuário ou assinante pode acessar com base nas permissões concedidas.

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados	F21	4	Estruturar e Implementar	<p>21. F21 – Elaboração de produtos customizados por meio de Softwares de automação industrial</p> <p>21.1. Melhoria Proposta: Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados</p> <p>21.2. Fonte: Adaptado de WAN et al 2020 e DUTTA et al, 2020</p> <p>21.3. Ações: Propõe-se Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados composto por:</p> <p>21.3.1. Análise da situação atual</p>
			Padronizar	<p>Consiste no diagnóstico da situação atual dos softwares para a elaboração de produtos customizados.</p> <p>21.3.2. Plano de Softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados</p> <p>Consiste no plano de Software para elaboração de produtos customizados visando a interconexão por meio da implementação de equipamentos de inspeção, calibração e rastreabilidade adequados à IoT visando sistemas de qualidade flexíveis e adaptáveis à dinâmica do mercado. Também busca-se a fabricação rápida de uma variedade de produtos em pequenos lotes. Como os tipos de produto podem mudar dinamicamente, os softwares precisam se ajustar com agilidade às diversas alterações possíveis. Os softwares de automação industrial para elaboração de produtos customizados devem ter dispositivos interconectados com dados em tempo real dos parâmetros do processo produtivo, processando-os por meio de computação em nuvem. O processamento desses dados, controle e operações podem ser realizados simultaneamente nos sistemas ciberfísicos (CPSs), realizando assim a integração dos ambientes físicos e digitais.</p>
			Gerenciar Quantitativamente	<p>Mais especificamente, recomenda-se aplicar Redes Definidas por Software (SDN). As SDN são um componente fundamental para a fabricação customizada. Ela pode ser constituída de estações base, pontos de acesso, gateways de rede, switches de rede, roteadores de rede e terminais dos quais estão interconectados entre si e podem ser apoiados por computação de borda ou nuvem. Os dispositivos de fabricação são conectados por seus módulos de comunicação e são mapeados para diferentes nós terminais da rede.</p>
			Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	<p>Primeiramente, os nós coordenados são vinculados aos nós comuns e entregam mensagens de controle de rede de outros dispositivos SDN. Posteriormente, os roteadores SDN são os principais dispositivos que realizam a separação do fluxo de dados e o fluxo de controle de toda a rede de fabricação. Além disso, o controlador pode ser conectado diretamente ao servidor de Inteligência Artificial, fornecendo decisões de rede diretamente ao controlador. No processo de informações de rede, algoritmos de IA, como redes neurais profundas, aprendizado por reforço, SVM e outros algoritmos de ML, podem ser executados em um servidor de acordo com o estado dos dispositivos de rede, como informações de carga, taxa de comunicação, intensidade do sinal recebido indicador e outros dados. Em seguida, o servidor retorna os resultados otimizados para o controlador, e os resultados são divididos em diferentes instruções para diferentes dispositivos de rede, de acordo com a customização desejada. Em seguida, os controladores SDN enviam um conjunto de instruções aos roteadores e aos nós de coordenação. E, finalmente, os terminais de rede reajustam os parâmetros relacionados (por exemplo, largura de banda de comunicação, potências transmitidas) para concluir o processo de comunicação de dados</p>
			Manter	
Processos de gestão da qualidade integrados de alguma forma a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída	F22	5	Estruturar e Implementar	<p>22. F22 – Integração dos processos de gestão da qualidade a outros processos da organização como marketing, vendas, pós-venda, logística de entrada e saída</p> <p>22.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico</p> <p>22.2. Fonte: Adaptado de BOUZON et. al., (2016) e PALADINI, 2019</p> <p>22.3. Ações: Indica-se Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico composto por:</p> <p>22.3.1. Análise da situação atual</p>
			Padronizar	<p>Primeiramente, é importante analisar a situação atual dos processos de gestão da qualidade e seu nível de integração a outros processos da organização.</p> <p>22.3.2. Plano de Integração Operacional, Tático e Estratégico</p> <p>Recomenda-se um plano de integração considerando os seguintes 3 ambientes de atuação da gestão da qualidade propostos por Paladini (2019): (1) Operacional (2) Tático (3) Estratégico e seus respectivos indicadores de avaliação da qualidade in-line, off-line e on-line.</p>
			Gerenciar Quantitativamente	<p>Com indicadores in-line está relacionado aos processos produtivos na linha de produção, no qual a qualidade está corresponde ao atendimento às especificações, à capacidade de produção, à otimização de processos, à ausência de defeitos, à produtividade e às estratégias operacionais da empresa.</p> <p>22.3.4. Ambiente Tático</p> <p>Já o ambiente (2) Tático com indicadores off-line consiste nas ações de suporte ao ambiente operacional, como por exemplo os procedimentos de manutenção, o Planejamento e Controle de Produção (PCP), os modelos gerenciais, as ações de recrutamento, seleção e capacitação de colaboradores, as práticas de segurança do trabalho, os programas de marketing, dentre outros conjuntos de atividades que apoiam indiretamente a produção.</p>
			Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	<p>22.3.5. Ambiente Estratégico</p> <p>E, por fim, o ambiente (3) Estratégico com indicadores on-line está associado ao relacionamento da empresa com o mercado, ao percebimento e compreensão das necessidades dos clientes e consumidores bem como à capacidade de reação frente às possíveis mudanças que venham a ocorrer no mercado. Neste ambiente, é fundamental que a organização perceba o mais rápido possível estas mudanças na demanda, como por exemplo novos hábitos dos consumidores, para então adequar os processos produtivos de modo a atender a essa nova realidade. Para essa melhoria, considerar também as características do ambiente competitivo como a complexidade dos produtos oferecidos e o ambiente regulatório.</p>
			Manter	<p>22.3.5. Logística Reversa</p> <p>Além disso, sugere-se aplicar a integração dos processos de gestão da qualidade também aos sistemas de Logística Reversa. A pesquisa elaborada por BOUZON et al., (2016), conclui que para reduzir a incerteza relacionada a questões econômicas na Logística Reversa, os gestores devem envolver clientes e clientes no processo, de forma a trazer estabilidade por meio do compartilhamento de informações e responsabilidades. Ao lidar com a questão da previsão limitada e trazer mais estabilidade à Logística Reversa, os benefícios econômicos das atividades de recuperação podem se tornar mais evidentes para as empresas.</p>

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta	
Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.	F23	5	1	Estruturar e Implementar	<p>23. F23 – Integração horizontal: Quando as tecnologias da Qualidade 4.0 permitem o compartilhamento de informações e dados entre os diferentes tipos de sistemas de informação, equipamentos e softwares que apoiam os processos produtivos.</p> <p>23.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração Horizontal</p> <p>23.2. Fonte: Adaptado de PÉREZ-LARA et al., 2020</p> <p>23.3. Ações: Recomenda-se Plano de Integração Horizontal composto por:</p> <p>22.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Deve-se analisar a situação atual relativo às tecnologias da Qualidade 4.0 e seu compartilhamento de informações e dados entre os diferentes sistemas e equipamentos que apoiam o processo produtivo.</p> <p>22.3.2. Plano de Integração Horizontal</p> <p>Recomenda-se um Plano de Integração Horizontal fundamentado no modelo de Stevens, que identifica os aspectos de um sistema de manufatura a serem direcionados para o planejamento estratégico por meio de técnicas padronizadas e um cenário ágil como meta operacional. Com isso, as melhorias são fundamentadas na análise da situação atual e no estudo do ambiente, para onde são direcionados e quais estratégias devem ser consideradas, sendo essencial desenvolvimento de um modelo conceitual de integração, que descreva as atividades de controle na gestão das operações de manufatura e no nível da empresa, com uma representação do sistema físico e uma interface explícita para a análise.</p> <p>Sugere-se aplicar o Modelo de Stevens para visualizar o desempenho da empresa na cadeia de suprimentos. Essa abordagem define o nível de integração das organizações, bem como o nível de absorção tecnológica. Desta forma é possível entender o funcionamento da cadeia de valor em termos de como o valor do cliente é criado; sendo representado de forma concisa por meio de um conjunto inter-relacionado de elementos: o cliente, a proposta de valor, a arquitetura organizacional e as dimensões econômicas.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção	F24	5	1	Estruturar e Implementar	<p>24. F24 – - Integração vertical: tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção</p> <p>24.1. Melhoria Proposta: Plano de Integração vertical</p> <p>24.2. Fonte: Adaptado de PÉREZ-LARA et al., 2020</p> <p>24.3. Ações: Recomenda-se Plano de Integração vertical composto por:</p> <p>24.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Deve-se analisar a situação atual relativo às tecnologias da Qualidade 4.0 presentes em todos os processos da cadeia de produção.</p> <p>24.3.2. Plano de Integração Vertical</p> <p>Recomenda-se a integração entre os elementos cruciais envolvidos na criação, desenvolvimento e fabricação do produto bem como sua administração. Pode-se utilizar a abordagem de Sistema sociotécnico ou os Sistemas de módulos de criação de Valor. O Sistema sociotécnico é composto por três elementos principais: sistema tecnológico, sistema organizacional e sistema operacional humano com o objetivo de otimizar a interação entre esses elementos para melhorar a produtividade, a qualidade e a satisfação dos funcionários.</p> <p>Já os Módulos de criação de valor são compostos pelo sistema operacional humano, o qual confere importância ao capital humano como elemento crítico de mudança e está diretamente envolvido no progresso da empresa, o Sistema organizacional, relacionado à sequência de operações entre os níveis hierárquicos da empresa, delegação de responsabilidades, etc, Sistema tecnológico, que inclui todos os elementos disponíveis em tecnologia para realizar as atividades do processo de produção, o Produto/Serviço, que aborda suas especificações e os Processos, que são as atividades que estão relacionadas ao desenvolvimento do produto/serviço.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	
Códigos QR e RFID e Sensores	T1		1	Estruturar e Implementar	<p>1. T1 - Códigos QR e RFID e Sensores</p> <p>1.1. Melhoria Proposta: Implementação de Códigos QR e RFID e Sensores</p> <p>1.2. Fonte: Adaptado de TRIPATHI, DWIVEDI, 2021</p> <p>1.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Códigos QR e RFID e Sensores composto por:</p> <p>1.3.1. Análise da situação atual</p> <p>Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Códigos QR e RFID.</p> <p>1.3.2. Implementação de Códigos QR e RFID</p> <p>Os códigos QR (Quick Response) e RFID (Radio Frequency Identification) são tecnologias que podem ser utilizadas para rastrear e identificar produtos, equipamentos e materiais em uma variedade de processos, desde o controle de estoque até o monitoramento da produção e logística. Os códigos QR, em geral, são mais economicamente viáveis do que os RFID. A principal vantagem de um RFID é sua possibilidade de reutilização e o conteúdo pode ser alterado quantas vezes for necessário, o que não é possível com um código de barras ou QR Code. As etiquetas RFID também são mais duráveis do que códigos de barras e códigos QR pois, mesmo que estejam danificadas, as informações nelas inscritas podem ser lidas. A distância de leitura dos códigos QR geralmente é menor do que os RFID, que podem ser a uma distância de vários metros.</p>
			2	Padronizar	
			3	Gerenciar Quantitativamente	
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	

Fator-chave	Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
Computação em Nuvem	T2	1	Estruturar e Implementar	2. T2 – Computação em Nuvem 2.1. Melhoria Proposta: Implementação de Computação em Nuvem 2.2. Fonte: Adaptado de QI; TAO, 2019.
		2	Padronizar	2.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação Computação em Nuvem composto por: 2.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Computação em Nuvem nos processos produtivos. 2.3.2. Implementação da Computação em Nuvem
		3	Gerenciar Quantitativamente	A computação em nuvem permite o acesso à rede onipresente, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis, incluindo IaaS (Infraestrutura como serviço), PaaS (Plataforma como serviço) e SaaS (Software como serviço). A computação em nuvem apresenta diversas vantagens, como a redução de custos de infraestrutura de TI, maior flexibilidade e escalabilidade para atender às demandas de negócios em constante mudança, melhor colaboração entre as equipes e acesso remoto aos processos produtivos, sendo fundamental garantir a segurança e a privacidade das informações utilizadas.
		4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	Mais especificamente, propõe-se um sistema de computação em nuvem integrado com a computação em névoa. Os componentes como roteadores de rede, servidores regionais, comutadores de rede de borda ou núcleo e sistemas de gerenciamento de classe podem ser usados como infraestruturas para computação em névoa. Essas infraestruturas podem fornecer diferentes funções de computação, armazenamento e rede. Por meio da computação em névoa, vários aplicativos e serviços implantados nessa camada podem conectar a diversos equipamentos e sensores inteligentes bem como integrar os dados. Essa solução pode ser aplicada no gerenciamento de estoque e otimização de processos. No que diz respeito à gestão de estoques, podem ser registrados o volume e o lote de material consumido nas atividades fabris, bem como os diferentes tipos e quantidades de produtos acabados. Como resultado, os gestores podem ser capazes de acompanhar as mudanças de estoque de materiais e produtos e tomar melhores decisões. Também pode-se otimizar os processos por meio da análise dos dados históricos do processo e a correlação entre diferentes parâmetros na qualidade.
		5	Manter	
T3 – Big Data e T7 – Ciência de Dados	T3 e T7	1	Estruturar e Implementar	3. T3 – Big Data e T7 – Ciência de Dados 3.1. Melhoria Proposta: Implementação de Ciência de dados para Manutenção Preditiva 3.2. Fonte: Adaptado de WANG, et al, 2022; ESCOBAR; MCGOVERN; MENENDEZ, 2021; SAJID, et al., 2021.
		2	Padronizar	3.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva composta por: 3.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva nos processos produtivos. 3.3.2. Implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva
		3	Gerenciar Quantitativamente	Recomenda-se a Implementação de Ciência de Dados para Manutenção Preditiva composta pelas fases de coleta, preparação, análise exploratória, modelagem, apresentação e automação. Na fase de coleta, os dados brutos são gerados dentro de máquinas, câmeras de vigilância, Internet das coisas (IoT), dispositivos de interface homem-máquina, dados na nuvem, sensores inteligentes, registros de manutenção e dados cibernéticos. Esses dados podem ser analisados para tomar decisões em tempo real e obter ideias. Em seguida, depois de coletar dados brutos, é essencial convertê-los de maneira estruturada para posterior análise. Os dados podem ser preparados de forma estruturada, não estruturada e semiestruturada. Os dados estruturados são formatados de maneira organizada sendo fácil de acessar, armazenar e processar, podendo ser gerados por máquinas com sensores e planilhas. Já os dados não estruturados, não estão organizados em nenhum formato pré-definido, tendo irregularidades e desorganização. Estes dados podem ser gerados por meio de imagens, áudio, sensores IoT etc. Os dados semiestruturados são um híbrido de dados estruturados e não estruturados.
		4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	Posteriormente a coleta e preparação, sugere-se a análise exploratória de dados. ajuda a nos familiarizar com todos os dados e reduzir a carga de trabalho durante a análise. por meio do uso de testes estatísticos, busca-se descobrir possíveis tendências, como tendência central (média, moda, mediana), dispersão (desvio padrão e variância), formas de distribuição e detecção de erros. Com os dados já analisados, pode-se iniciar a modelagem com a finalidade de obter a manutenção preditiva, como a previsão de vida útil restante ou quando a máquina falhará ou reduzirá o desempenho. A execução do aprendizado de máquina inclui a criação de um modelo, a preparação de alguns dados de treinamento e o manuseio de informações extras para fazer previsões. E, finalmente, após a obtenção dos resultados dos modelos de algoritmos, os dados são apresentados e aplicados para tomar melhores decisões e estratégias. Especialistas com experiência no setor podem examinar os padrões e resultados, para sugerir a melhorias nos procedimentos de operação,
		5	Manter	
T6 – Inteligência Artificial, T4 – Aprendizado de Máquina, T5 – Aprendizado Profundo	T4, T5, T6	1	Estruturar e Implementar	4. T6 – Inteligência Artificial, T4 – Aprendizado de Máquina, T5 – Aprendizado Profundo 4.1. Melhoria Proposta: Implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade 4.2. Fonte: Adaptado de NTI et al., 2022; BERTOLINI, et al, 2021; YANG et al., 2020
		2	Padronizar	4.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Inteligência Artificial para otimizar a Qualidade composto por: 4.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Inteligência Artificial nos processos produtivos. A Inteligência Artificial pode ser aplicada em diversas funções na indústria de manufatura, como por exemplo diagnóstico de falhas, monitoramento de fabricação, custo e consumo de energia, manutenção preditiva, fabricação de semicondutores e circuitos integrados, tendências do mercado, comportamento do cliente etc. 4.3.2. Implementação de Machine Learning Machine Learning (ML) é um ramo da inteligência artificial que estuda algoritmos capazes de aprender de forma autônoma, diretamente dos dados de entrada. Essa tecnologia pode ser utilizada na gestão da qualidade para o controle da qualidade de forma online, para a detecção e classificação de defeitos, para o reconhecimento de imagens para análise da qualidade do produto e para a gestão do ciclo de vida. Mais especificamente, pode-se utilizar o aprendizado de máquina para modelar e prever comportamentos dos materiais e sua qualidade por meio de algoritmos fundamentados em Árvore de Decisão (DT), Redes Neurais (RN), Regressão por Vetores de Suporte (SVR), Deep Belief Network (DBN), Floresta aleatória (Random forest), Modelos de Mistura Gaussiana, Estimativa de Densidade da Janela de Parzen entre outros.
		3	Gerenciar Quantitativamente	Recomenda-se utilizar o Machine Learning para aplicações iguais ou semelhantes aos casos bem-sucedidos, como prever a espessura das camadas dielétricas depositadas durante a fabricação de semicondutores do tipo wafers, analisar padrões de ruído e assim detectar rolamentos defeituosos em eletrodomésticos, detecção de anomalias em motores de máquinas pesadas, baseado em dados de fabricação, inspeção e pós-venda etc. 4.3.3. Implementação de Aprendizado Profundo A detecção de defeitos do produto é essencial no controle de qualidade na fabricação. Para isso pode-se utilizar a Rede neural convolucional (Convolutional neural network - CNN),

Fator-chave		Prioridade	Nível atual	Ações de Melhorias	Melhoria Proposta
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	Autocodificador (Autoencoder neural network), rede neural residual (residual neural network), Fully Convolutional Network (FCN) e rede neural recorrente (Recurrent neural network). A Rede neural convolucional possui como vantagem uma forte capacidade de aprendizado para dados de entrada de alta dimensão, no entanto, os complexos cálculos exigirão alta capacidade de processamento. O Autocodificador apresenta como benefício uma boa capacidade de representação de informações de objetos, todavia é necessário que as dimensões de dados de entrada e saída da máquina do codificador automático sejam consistentes. A rede neural residual dispõe a vantagem de possuir menor perda de convergência e não sofrer sobreajuste (overfitting), por isso tem melhor desempenho de classificação.
			5	Manter	Contudo, a rede deve cooperar com maior profundidade para aproveitar ao máximo suas vantagens estruturais. A Fully Convolutional Network pode analisar imagem de qualquer tamanho para obter a matriz de conhecimento prévio semântico de alto nível, que tem um bom efeito na detecção de objetos de nível semântico. Porém, para isso, a transformação da matriz de recursos combinada com os recursos subjacentes é necessária, deixando a velocidade de convergência do modelo lenta. A Rede Neural Recorrente pode ser utilizada quando há menos dados de amostra, sendo capaz de aprender os recursos essenciais dos dados e reduzir a perda de informações no processo de agrupamento. Mas, com o aumento do número de iterações no processo de treinamento da rede, o modelo de rede neural recorrente pode apresentar fenômeno de sobreajuste (overfitting).
T8- BlockChain	T8		1	Estruturar e Implementar	8. T8- BlockChain 8.1. Melhoria Proposta: Implementação de BlockChain 8.2. Fonte: Adaptado de KHANFAR, et al., 2021 8.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de BlockChain composto por:
			2	Padronizar	8.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de BlockChain na cadeia de suprimentos. 8.3.2. Implementação de Blockchain
			3	Gerenciar Quantitativamente	O blockchain, também conhecido como protocolo da confiança, é uma tecnologia de registro distribuído que visa a descentralização como medida de segurança. Ela agrupa um conjunto de informações que se conectam por meio de criptografia, fazendo com que as transações financeiras e outras operações sejam realizadas de forma segura. Mais especificamente, essa tecnologia pode ser aplicada na Indústria 4.0 em diversos processos, principalmente na cadeia de suprimentos.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	O gerenciamento de informações na cadeia de suprimentos é desafiador, pois dados confiáveis e em tempo real são necessários para evitar baixo desempenho, fraudes e riscos. Para isso, pode-se utilizar Blockchain nos sistemas visando melhor verificabilidade e compartilhamento de informações. Essa tecnologia possibilita conectar as partes interessadas da cadeia de suprimentos usando uma estrutura de dados distribuída onde os dados são compartilhados em uma rede ponto a ponto, por meio de protocolos pré-definidos nos quais os dados são comunicados e validados. A estrutura descentralizada do BlockChain e protegida por meio de criptografia avançada, suporta a verificação de transações diretamente entre as partes interessadas e elimina a necessidade de intermediários para a verificação das transações, permitindo que as empresas envolvidas na rede da cadeia de suprimentos compartilhem, acessem e verifiquem informações com segurança.
			5	Manter	Com isso, o Blockchain pode melhorar significativamente as práticas de gestão e garantia da qualidade pois viabiliza que as partes interessadas acessem informações relacionadas a matérias-primas, produtos, fornecedores, varejistas, manufatura e atividades da cadeia de suprimentos e assim verifiquem a qualidade dos produtos e garantam que os produtos estejam em conformidade com os padrões de garantia da qualidade e com os requisitos legais.
T9- Manufatura Aditiva	T9		1	Estruturar e Implementar	9. T9- Manufatura Aditiva 9.1. Melhoria Proposta: Implementação de Manufatura Aditiva 9.2. Fonte: Adaptado de JIMÉNEZ, et al. 2019; KAFLE, et al, 2021.
			2	Padronizar	9.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Manufatura Aditiva composto por: 9.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de Manufatura Aditiva nos processos produtivos.
			3	Gerenciar Quantitativamente	9.3.2. Implementação da Manufatura Aditiva A implementação da manufatura aditiva permite que seja realizado um design de produto mais criativo e customizado pelo modelo de manufatura impulsionada pela demanda do mercado, no qual o consumidor possui um papel de design e personalizador. As técnicas de fabricação aditiva fornecem diversas vantagens competitivas pois se adaptam muito bem à complexidade geométrica e à personalização do design da peça a ser fabricada.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	A manufatura aditiva, em casos de polímeros, pode ser realizada por Modelagem por Deposição Fundida (Fused Deposition Modelling - FDM), Sinterização a laser seletiva (Selective Laser Sintering - SLS) e Estereolitografia (Stereolithography). As vantagens da Modelagem por Deposição Fundida, (processo de extrusão) são menor tempo de impressão e baixo custo. Já as desvantagens são que a tecnologia não permite um acabamento superficial bom. No que se refere a Sinterização a laser seletiva, essa tecnologia possibilita maiores opções de design e a ausência de necessidade de estruturas de suporte, porém ela possui alto tempo de impressão além do acabamento formar superfície áspera Já a Estereolitografia assegura peças de com alta resolução e precisão, entretanto essa tecnologia possui elevado custo de manutenção e operação.
			5	Manter	
T10- Realidade Aumentada	T10		1	Estruturar e Implementar	10. T10- Realidade Aumentada 10.1. Melhoria Proposta: Implementação de Realidade Aumentada 10.2. Fonte: Adaptado de DEVAGIRI, et al. 2022
			2	Padronizar	10.3. Ações: Propõe-se um Plano de implementação de Realidade Aumentada composto por: 10.3.1. Análise da situação atual Consiste-se na análise da situação atual da empresa com relação à utilização de realidade aumentada nos processos produtivos.
			3	Gerenciar Quantitativamente	10.3.2. Implementação de Realidade Aumentada A Realidade Aumentada (AR) é uma representação aumentada da realidade formada pela sobreposição de informações digitais em uma imagem de objetos vistos por meio de um dispositivo. Na indústria de manufatura, a Realidade Aumentada pode ser aplicada em diversos contextos. Na montagem, a AR facilita a personalização dos produtos por meio da manipulação de objetos virtuais nos processos de montagem de acordo com as expectativas dos clientes. Além disso, no projeto e desenvolvimento de produtos, pode ser empregada para visualizar e simular diferentes cenários, permitindo que os designers possam fazer ajustes e melhorias antes do produto ser fabricado. Também pode ser utilizada para simular situações complexas de treinamento em ambiente controlado e seguro. Por exemplo, treinamento para operação de equipamentos, manutenção preventiva, e reparação de falhas. Na inspeção da qualidade, a AR pode ser utilizada para inspecionar produtos e detectar falhas, permitindo que os trabalhadores identifiquem problemas com maior precisão e rapidez.
			4	Otimizados continuamente por meio de melhorias incrementais e/ou radicais.	
			5	Manter	