

FELIPE HENRIQUE DA SILVA GOMES

Avaliação das práticas da gestão da qualidade na Indústria 4.0 no setor de autopeças

Guaratinguetá
2023

Felipe Henrique da Silva Gomes

Avaliação das práticas da gestão da qualidade na Indústria 4.0 no setor de autopeças

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. João Batista Turrioni
Coorientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior

Guaratinguetá
2023

G633a	Gomes, Felipe Henrique da Silva Avaliação das práticas da gestão da qualidade na indústria 4.0 no setor de autopeças / Felipe Henrique da Silva Gomes - Guaratinguetá, 2024. 68 f : il. Bibliografia: f. 63-64 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientador: Prof. Dr. João Batista Turrioni Coorientador: Prof. Dr. Jorge Muniz Junior 1. Gestão da qualidade total. 2. Indústrias. 3. Administração de produtos. I. Título. CDU 658.56 (043)
-------	--

Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente dissertação apresenta um instrumento para gestão e melhoria contínua das práticas de gestão da qualidade em organizações. Podendo ser aplicada para monitorar a evolução e identificação de áreas críticas para o desenvolvimento da organização dentro do contexto da indústria 4.0. O advento da indústria 4.0 é um tema contemporâneo e traz consigo inúmeras soluções ou práticas que visam melhorar a eficiência das organizações através deste novo modelo de negócio baseado na transformação digital. Assim o potencial desta dissertação é a utilização da ferramenta desenvolvida como suporte na melhoria contínua da qualidade em organizações que almejam evoluir e se manter competitivas em um mercado cada dia mais exigente e inovador. Além disso o trabalho fomenta a integração da comunidade acadêmica com um dos segmentos industriais mais importantes do país, através da aplicação de métodos científicos para solução de problemas práticos e necessidades reais que pode contribuir com desenvolvimento mais sustentável das organizações e formação de uma cultura organizacional guiada pela constante melhoria e evolução da comunidade e processos.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This dissertation presents an instrument for the management and continuous improvement of quality management practices in organizations. It can be applied to monitor the evolution and identify critical areas for the organization's development within the context of Industry 4.0. The advent of Industry 4.0 is a contemporary theme and brings with it numerous solutions or practices aimed at improving the efficiency of organizations through this new business model based on digital transformation. Thus, the potential of this dissertation lies in the use of the developed tool as support in the continuous improvement of quality in organizations that aspire to evolve and remain competitive in an increasingly demanding and innovative market. Furthermore, the work promotes the integration of the academic community with one of the most important industrial segments in the country, through the application of scientific methods to solve practical problems and real needs. This can contribute to the more sustainable development of organizations and the formation of an organizational culture guided by continuous improvement and the evolution of the community and processes.

FELIPE HENRIQUE DA SILVA GOMES

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Documento assinado digitalmente
 **GISLAINE CRISTINA BATISTELA**
Data: 18/10/2023 12:02:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Gislaine Cristina Batistela
Coordenadora - PPGE-PP

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **JOAO BATISTA TURRIONI**
Data: 11/09/2023 13:26:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO BATISTA TURRIONI
Orientador - UNESP
participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **JULIANA HELENA DAROZ GAUDÊNCIO**
Data: 15/09/2023 12:29:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. JULIANA HELENA DAROZ GAUDÊNCIO
UNIFEI
participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO WAGNER FORTI**
Data: 06/10/2023 13:39:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
UNESP
participou por videoconferência

SETEMBRO de 2023

DADOS CURRICULARES

FELIPE HENRIQUE DA SILVA GOMES

NASCIMENTO 30/08/1984 – Lambari – MG

FILIAÇÃO Silvio Antônio Gomes
Maria Aparecida da Silva Gomes

01/2009 Graduado em Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Itajubá – Itajubá MG

RESUMO

Com o advento do fenômeno da indústria 4.0 e transformação digital, que tem transformado as relações de trabalho, meios de produção e exigências do mercado, especialmente na indústria automotiva, que no caso do Brasil representa um segmento motriz na evolução industrial do país, faz-se necessário ter métodos ou ferramentas capazes de avaliar e gerir a evolução da gestão da qualidade das organizações na indústria 4.0, frente a crescente evolução e exigências de um mercado cada vez mais dinâmico e competitivo. Assim este estudo tem como objetivo avaliar a maturidade da gestão da qualidade na indústria 4.0. Para isso, conduziu-se um estudo de caso usando um instrumento de avaliação de maturidade em duas unidades produtivas de uma indústria do setor de autopeças fornecedora de componentes para as principais montadoras de caminhões e ônibus. O instrumento compreende um questionário com vinte proposições distribuídas em seis dimensões as quais foram avaliadas pelos participantes quanto ao critério de importância e nível de aplicação ou evolução da prática no negócio. A coleta de dados através do questionário foi conduzida de forma presencial e envolveu pessoas com funções estratégicas e alta liderança de diversas áreas funcionais. Os resultados encontrados foram apresentados por gráficos de radar, evidenciando as lacunas entre o nível de importância e de aplicação na organização. Adicionalmente, gráficos boxplot foram utilizados para visualizar a dispersão e variação das respostas dos avaliadores. A análise indica que há áreas em estágio inicial de desenvolvimento, demandando atenção e que devem ser prioritárias em caso de um plano de desenvolvimento focado na qualidade 4.0. Os níveis de maturidade encontrados indicam a existência de iniciativas já em progresso, e algumas dimensões já quase consolidadas, porém oportunidades de evolução na integração da qualidade na indústria 4.0 ainda existem na maior parte das dimensões. O estudo destaca que o instrumento proposto captou diversas perspectivas sobre o tema e pode ser empregado como uma ferramenta para gerenciar a evolução ao longo do tempo em uma organização, durante sua jornada na implementação da gestão da qualidade na indústria 4.0.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0; Modelos de Maturidade; Qualidade 4.0; Gestão da Qualidade.

ABSTRACT

Within the advent of the Industry 4.0 phenomenon and digital transformation, which have been reshaping work relationships, means of production and market demands, especially in the automotive industry - a driving force for industrial evolution in Brazil - there is a need for methods or tools capable of assessing and managing the evolution of quality management within organizations in the context of Industry 4.0. This is crucial in the face of the continuous evolution and demands of an increasingly dynamic and competitive market. Therefore, this study aims to evaluate the maturity of quality management within Industry 4.0, particularly in relation to product quality management. To achieve this, a case study was conducted by applying a maturity assessment instrument to two production units of an auto parts industry, which serves as a supplier to major truck and bus manufacturers. The instrument consisted of a questionnaire with twenty statements distributed across six dimensions. The participants evaluated the importance criteria and the level of application or advancement of these practices within the business. Data collection through the questionnaire was carried out in person and involved individuals in strategic roles and high leadership positions from various functional areas. The obtained results were depicted using radar charts, highlighting gaps between the importance level and implementation within the organization. Additionally, boxplot graphs were employed to visualize the dispersion and variation for evaluator responses. The analysis shown that certain areas are in the early stages of development, demanding a prioritized attention, especially if a development plan focusing on Quality 4.0 are been considered. The identified maturity levels indicate the presence of ongoing initiatives with some dimensions already approaching the consolidation. However, opportunities for evolution in integrating quality within Industry 4.0 remains across most dimensions. This study emphasizes that the proposed instrument captured various perspectives on the subject and can serve as a tool to manage evolution over time within an organization during its journey of implementing quality within Industry 4.0.

KEYWORDS: Industry 4.0; Maturity Models; Quality 4.0; Quality Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do estudo de caso.....	22
Figura 2 – Gráfico de Radar por Questão – Caso 1.....	30
Figura 3 – Gráfico de Radar por Questão – Caso 2.....	31
Figura 4 – Gráfico da média em percentual por dimensão.....	32
Figura 5 – Gráfico de radar comparativo das dimensões.....	34
Figura 6 – Pontuação total consolidada.....	35
Figura 7 – <i>Boxplot</i> por proposição para nível de evolução – Caso 1.....	37
Figura 8 – <i>Boxplot</i> por proposição para nível de importância – Caso 1.....	40
Figura 9 – <i>Boxplot</i> por proposição para nível de evolução – Caso 2.....	43
Figura 10 – Figura 10: <i>Boxplot</i> por proposição para nível de importância – Caso 2.....	46
Figura 11 – <i>Boxplot</i> por dimensão – Caso 1.....	49
Figura 12 – <i>Boxplot</i> por dimensão – Caso 2.....	51
Figura 13 – Casos pareados – Critério evolução	54
Figura 14 – Casos pareados – Critério importância.....	54
Figura 15 – Casos Pareados – Dimensões.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sumário da pesquisa e critérios de seleção.....	22
Quadro 2 - Quantidade de perguntas, escopo e conceito por dimensão.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais modelos para qualidade na indústria 4.0	17
Tabela 2 – Modelos para qualidade na indústria 4.0.....	19
Tabela 3 – Escala 1 segundo <i>Likert</i>	27
Tabela 4 – Escala 2 segundo <i>Likert</i>	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIQ	Amplitude Interquartilica
B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CEO	Chief Executive Officer
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
I4.0	Indústria 4.0
ICT	Internet Communication Technology
IOT	Internet Of Things
PLM	Product Lifecycle Management
Q4.0	Qualidade 4.0

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA TEÓRICA E ORGANIZACIONAL.....	12
1.2	OBJETIVO E DELIMITAÇÃO.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	MODELOS DE MATURIDADE APLICADOS A INDÚSTRIA 4.0.....	15
3	MÉTODO DE PESQUISA	21
3.1	REVISÃO TEÓRICA.....	22
3.2	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	23
3.3	PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CASO.....	23
3.4	PROTOCOLO DE PESQUISA.....	24
3.4.1	Criação e desenvolvimento do questionário.....	24
3.4.2	Sobre as escalas de avaliação	26
3.4.3	Seleção dos entrevistados e condução da coleta de dados	28
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1	PONTUAÇÃO TOTAL POR CASO.....	35
4.2	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS ATRAVÉS DO BOXPLOT	35
4.2.1	Análise para o critério de evolução aplicado ao caso 1.....	36
4.2.2	Análise para o critério de importância aplicado ao caso 1.....	39
4.2.3	Análise para o critério de evolução aplicado ao caso 2.....	42
4.2.4	Análise para o critério de importância aplicado ao caso 2.....	46
4.3	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DA PONTUAÇÃO DAS DIMENSÕES ATRAVÉS DO BOXPLOT	48
4.4	ANÁLISE INTRACASO.....	53
4.4.1	Análise intracaso para as questões	53
4.4.2	Análise intracaso para as dimensões.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A – Questionário.....	65

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o grau de maturidade da gestão da qualidade do produto, no contexto da indústria 4.0.

A gestão da qualidade desempenha um papel fundamental no cenário da Indústria 4.0, onde a digitalização e automação dos processos industriais estão cada vez mais presentes. Nesse contexto, a gestão da qualidade evolui para atender aos desafios e demandas dessa nova era industrial. A mesma incorpora tecnologias avançadas, análise de dados, integração de sistemas e colaboração para garantir a qualidade dos processos e produtos em um ambiente altamente digitalizado e conectado (MORAIS *et al.*, 2020).

A transformação digital dentro de toda sua amplitude, pode ser descrita como uma estratégia ou processo que vai muito além da implementação de uma tecnologia digital, envolvendo uma mudança profunda no núcleo da empresa e evolução da forma de trabalho. Para isso, a transformação digital exige mudanças balizadas no cliente e apoiadas pela gestão para que assim se inicie a transformação da cultura corporativa por meio do desenvolvimento e implantação de tecnologias avançadas que permitem a descoberta de novas formas de trabalho e otimização de rotinas (SONY *et al.*, 2020).

Entre os principais tópicos que guiam e impulsionam a transformação digital dentro das organizações, segundo Antony *et al.* (2021), estão: melhoria da operação, engajamento e aprimoramento da experiência com os clientes, transformação nos processos e produtos.

Uma vez que estratégias de implementação e transformação digital, em sua grande maioria, envolvem investimento e planejamento significativos, o desenvolvimento de instrumentos de avaliação de maturidade específicos (SCHUMACHER *et al.*, 2016), é importante na evolução da indústria 4.0 nas organizações.

1.1 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E ORGANIZACIONAL

Esta dissertação busca apresentar um instrumento capaz de suportar as organizações em como avaliar a implementação e evolução dos modelos de gestão da qualidade na indústria 4.0 (ZAIDIN *et al.*, 2018). Além disso, traz contribuições teóricas no sentido de revisar e comparar modelos de avaliação do grau maturidade já desenvolvidos, comparando os respectivos constructos e etapas de análise dos mesmos.

Considerando-se que o conceito de qualidade está presente em todos os processos de uma organização, torna-se fundamental desenvolver um instrumento com aspecto mais específico

aos processos ou rotinas. É relevante para o desenvolvimento desta dissertação o foco nas práticas e rotinas da gestão da qualidade do produto, desde sua fase de projeto, produção e alguns aspectos básicos relacionados à percepção de qualidade do produto por parte do cliente.

O desenvolvimento desse trabalho contribuiu com a proposta de um instrumento de avaliação de maturidade da qualidade 4.0 que pode ser utilizado para a criação de uma base de comparação entre organizações, bem como uma análise comparativa longitudinal da evolução de uma organização alvo, permitindo assim um planejamento estratégico mais efetivo na implementação e evolução da indústria 4.0.

Enfim, aplicar o instrumento proposto neste trabalho para acompanhar longitudinalmente a evolução do processo de gestão da qualidade na indústria 4.0 atrelado à qualidade do produto.

1.2 OBJETIVO E DELIMITAÇÃO

Esse estudo tem como objetivo geral avaliar o grau de maturidade da gestão da qualidade, dentro do contexto da indústria 4.0, nas organizações do segmento automotivo.

Objetivos específicos:

- Para que se possa explorar o objetivo citado, este trabalho propõe-se a desenvolver um instrumento que permita a avaliação de maturidade da qualidade 4.0 aplicados à gestão da qualidade do produto no referido segmento.
- Avaliar o grau de maturidade de dois casos, através de *boxplot* e gráfico de radar.

Para as delimitações, tem-se:

- Característica (B2B) dos dois casos avaliados em relação algumas práticas da I4.0, no que se refere a interface com cliente final (B2C), que é inerente a montadoras do segmento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Visando obter sucesso nos desafios da indústria 4.0 as grandes organizações precisam ter um ponto de partida para balizar o planejamento da transformação digital e evolução de seus processos. (PACCHINI et al, 2019)

Diversos fatores podem impactar na evolução e no grau de maturidade, afetando os processos das organizações. Dentro desse contexto, alguns pesquisadores, como Brozzi et al. (2018), Pacchini et al. (2019), Antony et al. (2021), vem contribuindo com o desenvolvimento de alguns modelos de avaliação do grau de maturidade da indústria 4.0. Porém para aumentar a eficiência e efetividade dos resultados alcançados por estes métodos, alguns pesquisadores sugerem explorar modelos de avaliação mais específicos (SCHUMACHER et al., 2016) ou até mesmo modelos de maturidade que permitam explorar a diferença conceitual e até mesmo semântica, entre as palavras maturidade, em um determinado processo, e estar apto ou pronto, para iniciar outro processo (PACCHINI et al., 2019).

A Indústria 4.0 é um termo utilizado para descrever a quarta revolução industrial, que envolve a integração de tecnologias digitais e físicas no ambiente de produção industrial. Ela representa uma nova era de automação e digitalização, onde os sistemas cibernéticos estão cada vez mais integrados com os processos de fabricação (ORTIZ et al., 2020)

Para Ortiz et al. (2020) existem nove pilares da Indústria 4.0 que sustentam essa transformação na indústria. Cada um deles desempenha um papel importante na transformação digital da indústria. A combinação dessas tecnologias promove maior eficiência, flexibilidade e inovação nos processos de fabricação. Ainda, os autores explicitam os pilares e suas características:

- Internet das Coisas (IoT): Se refere à conexão de dispositivos físicos à internet. Por meio da IoT, máquinas, sensores e produtos podem se comunicar e trocar informações em tempo real, permitindo uma maior visibilidade e controle dos processos de produção.
- Big Data e Analytics: Envolve a coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de dados gerados pelos sistemas de produção. Com ferramentas de análise de dados avançadas, as empresas podem extrair informações, identificar padrões e tomar decisões mais informadas para otimizar a eficiência e a qualidade dos processos.
- Computação em Nuvem: Permite o armazenamento e acesso remoto a dados, além de fornecer recursos computacionais escaláveis para processamento de dados e execução de aplicativos. Isso facilita o compartilhamento de informações entre sistemas e locais diferentes, promovendo a colaboração e a conectividade.

- **Manufatura Aditiva:** Também conhecida como impressão 3D, a manufatura aditiva permite a criação de objetos físicos camada por camada, a partir de modelos digitais. Essa tecnologia oferece flexibilidade e agilidade na produção, permitindo a fabricação de peças personalizadas, protótipos rápidos e a redução de custos de produção.

- **Realidade Aumentada:** A realidade Aumentada combina o mundo real com elementos virtuais, sobrepondo informações digitais em um ambiente físico. Na Indústria 4.0, a realidade aumentada é utilizada para fornecer informações em tempo real aos operadores, como instruções de montagem ou manutenção, melhorando a eficiência e a precisão das tarefas.

- **Robótica:** É caracterizada por avanços tecnológicos que permitem a interação mais inteligente e flexível dos robôs com os sistemas de produção, além de melhorias dos processos industriais, trazendo maior eficiência, produtividade e adaptabilidade para as fábricas modernas.

- **Segurança da Informação:** A segurança da informação desempenha um papel importante, devido à crescente conectividade e ao aumento da troca de dados e informações entre os sistemas digitais e físicos. Com a digitalização e a interconectividade dos processos de produção, surgem novos desafios relacionados à proteção dos dados e sistemas contra ameaças internas e externas.

- **Simulação:** Proporciona benefícios significativos em diversas áreas, desde o planejamento de processos até a otimização de sistemas complexos. A utilização de simulação na Indústria 4.0 permite a análise e modelagem de cenários virtuais, fornecendo informações valiosas e suporte à tomada de decisões.

- **Integração de Sistemas:** Com a digitalização e automação dos processos industriais, surge a necessidade de conectar e integrar diferentes sistemas, dispositivos e tecnologias para criar um ambiente de produção eficiente e interconectado. A integração de sistemas na Indústria 4.0 permite a troca de informações em tempo real, a coordenação das operações e a tomada de decisões baseada em dados.

2.1 MODELOS DE MATURIDADE APLICADOS A INDÚSTRIA 4.0

A tabela 1 revisa modelos analisados na literatura e quais categorias foram avaliadas em seus respectivos instrumentos, dentro do contexto da indústria 4.0. Esses modelos serão base para a análise do constructo que suporta o desenvolvimento desta dissertação.

Para a construção da tabela 1 foi considerada a divisão/ apresentação dos tópicos em categorias ou dimensões. Estas dimensões foram categorizadas inicialmente com base no modelo desenvolvido por Schumacher, Erol e Sihm (2019), sendo possível acrescentar mais dimensões de acordo com a evolução da revisão teórica, para casos em que, se encontrem abordagens diferentes e aderentes a proposta deste trabalho e que por este fato seja interessante a ampliação da coluna de categorias para uma melhor visualização da abrangência dos modelos. Portanto é importante ressaltar que para este trabalho ainda é aplicada uma análise quanto aos tópicos de maior pertinência às práticas relacionadas à gestão de qualidade do produto nas organizações.

A tabela 1 indica as principais dimensões avaliadas, podendo esta dimensão ter “ n” tópicos na sua constituição de acordo com a evolução da revisão dos modelos disponíveis na literatura. Não há restrição de inclusão de subitens nas dimensões ou categorias, uma vez que a premissa desta tabela é criar uma base consistente e ampla que permita a análise do constructo deste trabalho de maneira adequada e aderente aos *gaps* de pesquisa identificados.

Exposto isto, tem-se um total mapeado de 44 tópicos ou subitens já categorizados dentro das 10 dimensões definidas, considerando os 10 modelos de maturidade listados como referência (letras de A até J no cabeçalho tabela). Ao final dos subitens de cada dimensão ou categoria tem-se a linha com a soma do total de subitens que foram identificados em cada modelo, os mesmos estão dispostos e identificados em colunas. Quanto maior o valor da soma maior a quantidade de itens abordados por aquele modelo em questão, no entanto não foi classificado ou qualificado o modelo em função da quantidade de itens, ou seja, um determinado modelo não foi classificado como melhor em relação a outro em função da quantidade de itens que considerou em seu constructo.

Para complementar a revisão e preparação para a análise do constructo, foi incluído um campo disposto em uma linha da tabela o qual faz referência a estrutura / framework usada pelos modelos analisados. O objetivo de se consolidar esta informação é gerar uma base apresentada de forma mais visual sobre a estrutura utilizada para aplicar os respectivos modelos. Em geral a maioria dos modelos analisados na revisão bibliográfica utilizou-se de um questionário construído utilizando o método da escala *likert* e saída através de gráfico de radar. Alguns modelos, como o de Antony et al. (2021), considerou a aplicação de pesos destacando a relevância da pergunta e teve a saída dos resultados através de cálculo por software, sendo e os resultados consolidados em um gráfico de radar. Na tabela 1, as letras no cabeçalho se referem aos modelos estudados e verificados para a construção da mesma, os quais estão relacionados na tabela 2.

Tabela 1: Principais modelos para qualidade na indústria 4.0

Categoria	Critérios	(conclusão)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Governança	1 Regulamentação práticas I4.0	x									
	2 Adequação dos padrões tecnológicos	x									
	3 Proteção dados e propriedade intelectual	x	x					x			
Tecnologias	1 Existência de tecnologias modernas de comunicação (ICT)	x	x								
	2 Utilização de dispositivos moveis integrados	x	x					x			
	3 Utilização de estrutura comunicação entre equipamentos (IOT)	x			x				x		
	4 Qualidade da internet		x								
	5 Cyber system (dados em tempo real com sugestão de decisão)				x	x		x		x	
	6 Realidade aumentada				x				x		
	7 Inteligência artificial (com tomada decisão)				x				x		
	8 Robôs autônomos e colaborativos				x			x			
	9 Armazenamento em nuvem				x			x	x		
Supply	1 Nível preparação / maturidade fornecedores I4.0			x		x					x
Total itens	44	27	12	7	8	7	0	19	17	15	6
Coleta / Framework	1 Questionário	x	x				x	x	x	x	x
	2 Escala likert	x	x		x	x			x		
	3 Peso perguntas	x		x	x						
	4 Cálculo ponderado por software	x		x	x		x		x		
	5 Afinidade do entrevistado com tema			x	x						x
	6 Disponibilizou questões							x	x		
Saídas	Gráfico Radar	x		x	x		x	x			
	Tabela com notas						x	x		x	x

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 1 apresenta a avaliação de maneira ampla no contexto operacional de uma indústria, ficando para uma segunda etapa o estreitamento e exploração mais detalhada pensando no pilar de produto, seja no âmbito de concepção até no âmbito de controle do processo de fabricação aplicado na qualidade do produto no contexto da indústria 4.0. Importante considerar que além da contribuição acadêmica, o instrumento atenda às necessidades práticas das organizações em seus variados estágios de maturidade, pois ainda de acordo com Schumacher, Erol e Sihm (2019) “instrumentos muito complexos tendem a falhar, uma vez que podem não ser facilmente aplicáveis a realidade”.

Tabela 2: Modelos para qualidade na indústria 4.0

Modelo	Título	Autores	Ano
A	A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises.	SCHUMACHER; EROL; SIHN	2019
B	Design of Self-assessment Tools to Measure Industry 4.0 Readiness. A Methodological Approach for Craftsmanship SMEs	BROZZI et al.	2018
C	An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions	ANTONY et al.	2021
D	The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0	PACCHINI et al.	2019
E	Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains	ASDECKER; FELCH	2018
F	Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model	ZELLER; HOCKEN; STICH	2018
G	Relatório de Maturidade Industrial	SENAI	2020
H	Avaliação de tecnologias adotadas.	CNI	2021
I	A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing	SJÖDI et al.	2018
J	Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks	PEUKERT et al.	2019

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Brozzi et al. (2018) o modelo foi criado para necessidades e desafios da estratégia a i4.0 para pequenas companhias e aplicado a operação destas indústrias. Já o modelo de Antony et al. (2021) avalia as principais questões para estar preparado para uma jornada de implementação de qualidade 4.0 bem-sucedida, ou seja, é importante considerar uma diferença semântica da palavra maturidade em função do contexto que a organização alvo está inserida, conforme abaixo:

- Estar preparado para iniciar uma jornada de implementação das práticas da indústria 4.0 - “*readiness*”.
- Maturidade no sentido de nível de implementação e evolução que a organização se encontra, ou seja, para casos que o processo já está em curso – “*maturity*”.

O estudo desenvolvido por Pacchini et al. (2019) apresenta estudo de caso no Brasil que avalia as tecnologias necessárias para se iniciar uma jornada de implementação na indústria 4.0, reiterando o conceito exposto anteriormente para os estágios *readiness* e *maturity*.

Já os pesquisadores Zeller, Hocken e Stich (2018) categorizam a saída dos resultados em 6 níveis de maturidade, capturando o conceito e abrangência que o modelo visa avaliar, sendo estes: computadorização, conectividade, visibilidade, transparência, capacidade preditiva, adaptabilidade. Para ajudar a corroborar com relevância da tabela construída e prosseguindo com análise de instrumentos importantes desenvolvidos, tem-se o método do Senai que muito se assemelha ao modelo de Zeller, Hocken e Stich (2018), porém não utiliza o critério de capacidade preditiva do Acatech na saída do nível maturidade. Este modelo não foca em produto e sim na estratégia da organização como um todo, nas práticas de gestão da indústria 4.0. Por fim, ainda em referência à produção nacional, temos o método do CNI, avaliando três dimensões, que focam em tecnologias empregadas em produto/design, produção e operações, além das tecnologias aplicadas no relacionamento e controle de fornecedores e clientes.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O método empregado no desenvolvimento desta pesquisa é o estudo de caso do tipo exploratório (MIGUEL, 2007), que aborda o fenômeno da indústria 4.0 e seu impacto na evolução da gestão da qualidade dentro deste contexto, uma vez que a proposta é construir um instrumento de avaliação de maturidade e testa-lo nos casos previstos como alvo da análise em uma empresa de manufatura de componentes automotivos.

Segundo Miguel (2007), a utilização relativamente extensiva de casos exploratórios deve considerar o nível de exploração, o mesmo deve ocorrer quando a teoria ainda não se encontra formulada ou quando for uma teoria emergente. Segundo Yin (2001), os estudos de caso tentam mostrar por que e como determinadas decisões foram tomadas, além de suas implementações e análise dos resultados.

Deve-se também “prever quais os tipos de validade a que o estudo de caso está sujeito, a descrição do caso deve conter uma análise crítica da qualidade resultante da pesquisa” (MIGUEL, 2007). Ainda para o autor, o objetivo maior da condução de um estudo de caso é a contribuição para a teoria vigente, seja no sentido da proposição, extensão ou refinamento da nova teoria.

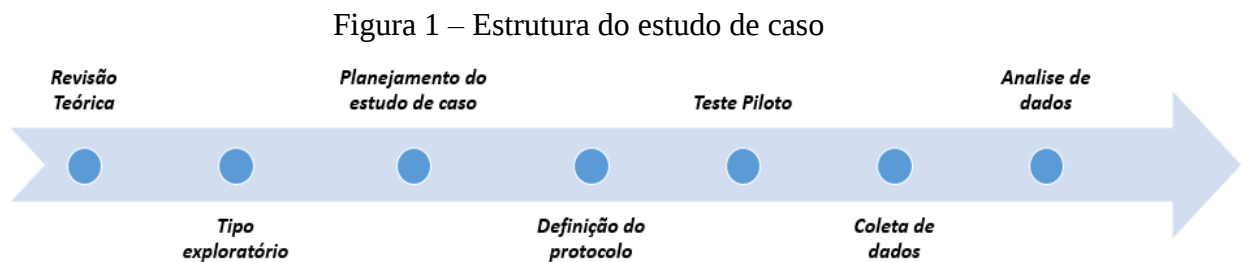
Ainda com relação ao estudo de caso deve-se também prever quais os tipos de validade a que o estudo está sujeito, a descrição do caso deve conter uma análise crítica da qualidade resultante da pesquisa” (MIGUEL, 2007). Ainda segundo (OLIVEIRA, et al. 2008), na fase de validação, é conveniente selecionarem-se os ambientes a pesquisar, considerando critérios como adequação com o tema pesquisado, porte (número de funcionários), faturamento, região, particularidades do setor. Neste trabalho o segmento/ ambiente é o automotivo, o qual está fortemente ligado ao tema de gestão da qualidade, e, assim atendendo as premissas para prosseguir-se com a aplicação do instrumento. Ainda conforme (OLIVEIRA, et al. 2008), existem estratégias e práticas que devem ser consideradas e aplicadas no trabalho de campo para minimizar os riscos a validade e confiabilidade do trabalho. A aplicação de questionário, por exemplo, no ambiente de estudo induz a aproximação com o contexto pesquisado, o que possibilita a queda de barreiras e o estabelecimento de uma relação de confiança entre entrevistado e pesquisador.

A validade de um estudo de caso refere-se à capacidade de o estudo medir o que pretende medir. Para aumentar a validade, é importante que o pesquisador escolha cuidadosamente o caso, identifique claramente as questões a serem investigadas. Além disso, é importante que o pesquisador use um protocolo estruturado e objetivo para análise e interpretação dos dados, a

fim de minimizar a subjetividade. A confiabilidade de um estudo de caso refere-se à consistência dos resultados e da interpretação ao longo do tempo e com diferentes observadores. Para aumentar a confiabilidade, é importante que o pesquisador documente cuidadosamente todas as etapas da pesquisa, use fontes de dados múltiplas e diversas, e tenha um protocolo estruturado para a análise de dados.

Por fim é importante apresentar claramente os resultados e interpretação dos dados aos participantes, fortalecendo relação de confiança, bem como as limitações do estudo.

Neste trabalho será desenvolvido o protocolo de avaliação de maturidade das práticas da gestão da qualidade na I4.0, aplicando-o nas organizações alvo, a partir da adaptação de outro instrumento previamente validado. Não haverá influência ou intervenção do pesquisador nos dados ou na coleta das informações. A figura 01 mostra as etapas importantes para se estruturar o estudo de caso.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 REVISÃO TÉORICA

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica nas plataformas *Web of Science* e *Scopus* para identificar os principais artigos publicados para compor a fundamentação teórica, conforme representado pelo quadro 1.

Quadro 1 - Sumário da pesquisa e critérios de seleção (continua)

<i>Crítérios</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Scopus</i>
<i>Temas</i>	(("industr* 4.0" OR "manufactur* of the future" OR "*" OR "advanced manufactur* technolog*" OR "digitalizat*" OR "smart* manufactur*" AND quality* OR quality control* OR quality 4.0*OR maturity index*))	
<i>Resultados</i>	293	251

Tipo Documento (1ºcritério)	Article and Review article	Final and Article and Review
<i>Resultados</i>	194	223
<i>Categorias</i> (2ºcritério)	Engineering Manufacturing or Engineering Industrial or Business or Management	Engineering or Bussiness
<i>Resultados</i>	112	194
<i>Data publicação</i> (3º critério)	2017 - 2022	2018 - 2022
<i>Resultados</i>	85	165
<i>Elegibilidade</i>	16	11
Total documentos	27	

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho definiu-se que a pesquisa será do tipo exploratório, uma vez que ocorrerá a aplicação e validação da ferramenta em casos alvos de estudo, sem análise de causa ou interferência do pesquisador.

3.3 PLANEJAMENTO DO ESTUDO DE CASO

Na etapa “planejamento do estudo de caso”, a abordagem metodológica mostra o melhor caminho para responder a pesquisa em questão, considerando centros fabris, pessoas e ferramentas, seguido da definição do protocolo, que é o guia geral de como a ferramenta será aplicada na pesquisa, conforme apresentado nos tópicos subsequentes.

Após a definição do protocolo planejou-se a realização do teste piloto, onde foi validado o protocolo criado, seguindo para a etapa de coleta de dados onde iniciou-se as abordagens aos envolvidos, fazendo levantamento de dados. Por fim, na fase final de análise de dados os registros serão analisados e filtrados.

Sendo assim, com base na figura 1, foi necessário analisar se os resultados obtidos estão adequados, e para isso foi importante validar o instrumento construído previamente, com base inclusive nos resultados obtidos por outros pesquisadores e seus respectivos relatos das dificuldades de condução da pesquisa.

Considerando o que foi apresentado, e dadas as características desta pesquisa exposta acima, reforça-se que o estudo de caso está adequado a proposta deste trabalho e aos resultados que ele se propõe a apresentar.

Este trabalho dividiu o estudo de caso em dois centros fabris, sendo nomeados de caso 1 e o caso 2.

3.4 PROTOCOLO DE PESQUISA

Para que fosse possível desenvolver o instrumento de avaliação de maturidade (constructo), e, conforme já citado no item 2.1 desta dissertação, foi necessária uma revisão bibliográfica para avaliação dos constructos desenvolvidos e aplicados por outros pesquisadores em projetos alinhados com a proposta deste trabalho, conforme pôde ser observado na tabela 1.

Assim, foi desenvolvido um questionário, com base no instrumento/constructo desenvolvido por (MTOTYWA, 2022), ou seja, o instrumento desenvolvido para esta dissertação é uma adaptação do instrumento citado, este fato corrobora na validação e aplicabilidade do instrumento desenvolvido neste trabalho para avaliação do grau de maturidade das práticas da qualidade 4.0 (contexto I4.0). O mesmo foi aplicado em uma empresa do setor automobilístico na região do Vale do Paraíba, fornecedora das principais montadoras do segmento de caminhões e ônibus, através dos executivos das principais áreas funcionais.

O grau de maturidade que essa dissertação avaliou, foi desenvolvido um instrumento de avaliação que buscou a identificação de *gaps*, o qual no diagnostico final, leva em consideração uma ponderação ou peso no resultado, sendo assim, instrumento desenvolvido considerou dois critérios para composição da avaliação final:

- 1 - Grau de evolução propriamente dito da proposição denominado por Nota.
- 2 - Grau de importância da proposição denominado por Peso.

Desta forma, o resultado final da avaliação será dado por:

$$\text{➤ Resultado final} = \text{Valor do grau de evolução} \times \text{Grau de importância atribuído}$$

Conforme mencionado o conceito considerado para utilização deste critério busca tornar o instrumento mais eficaz na identificação dos *gaps* dentro de uma organização e suportar a tomada de decisão quanto a aplicação de recursos e a aplicação das lacunas identificadas.

3.4.1 Criação e desenvolvimento do questionário

O questionário desenvolvido consta de vinte perguntas distribuídas em seis categorias, aqui chamadas de dimensões. (Apêndice A)

Uma vez que a aplicabilidade de práticas da indústria 4.0 apresenta um campo extremamente vasto, a criação destas dimensões foi importante para guiar a classificação e agrupamento das perguntas, dado ao contexto conceitual que cada dimensão visa avaliar, as práticas de gestão da qualidade 4.0 atrelado ao produto.

A tabela 1 foi base para a validação da estrutura do instrumento adaptado e aplicado para a avaliação de maturidade atrelada a gestão da qualidade do produto. A tabela apresenta uma característica mais abrangente em termos de sistema da gestão da qualidade em relação ao instrumento aplicado neste projeto. Sendo assim o instrumento adaptado neste estudo está contido dentro das 10 categorias identificadas na revisão teórica conforme tabela, seguiu-se o modelo do autor Mtotywa (2022), o mesmo utilizou 6 dimensões, sendo: foco no cliente, desenvolvimento de produto, gestão do processo de fabricação, integração e gestão de sistemas, envolvimento da liderança, cultura e engajamento.

O quadro 2 ilustra como estão divididas as seis dimensões deste instrumento, incluindo quantidade de perguntas e conceitos.

Quadro 2: Quantidade de perguntas, escopo e conceito por dimensão

(continua)

<i>Dimensão</i>	<i>Escopo</i>	<i>Perguntas</i>	<i>Conceito</i>
1	Foco no Cliente	3	Foco no cliente cria um contexto de avaliação das principais rotinas, através de 3 proposições, focadas no atendimento do cliente e monitoramento de suas necessidades e satisfação de maneira preventiva através de sistemas automáticos.
2	Desenvolvimento de Produto	4	Engloba atividades e aplicação de tecnologias da indústria 4.0 durante a fase desenvolvimento e concepção de produtos. Há existência de softwares de simulação e modelagem, bem como técnicas de manufatura aditiva, que são ferramentas as quais, de maneira geral, permitem maior assertividade e otimização de recursos durante a fase desenvolvimento.

Quadro 2: Quantidade de perguntas, escopo e conceito por dimensão

(conclusão)			
3	Gestão do Processo de Fabricação	4	Busca avaliar a aplicação de ferramentas e conceitos da indústria 4.0 na gestão da capacidade do processo de fabricação em tempo real e assim permitem prever e gerir as saídas deste processo, ou seja, garantir o produto que é saída do processo em questão.
4	Integração e Gestão de Sistemas	5	Visa avaliar como está a integração dos processos ou a gestão dos sistemas já integrados, ou seja, se existe uma conexão entre todas as informações existentes dos vários processos (<i>big data</i>) que permitam tomadas de decisão antecipadas ou identificação de tendências de desvios e seus possíveis impactos
5	Envolvimento da Liderança	2	Estão direcionadas em avaliar aspectos culturais e estrutura organizacional. Nestas dimensões avalia-se também o envolvimento e estímulo aos colaboradores por parte da liderança, bem como existência de um plano diretor com propostas consistentes que fomentem o engajamento e desenvolvimento do capital humano da corporação frente a uma jornada de implementação da qualidade 4.0.
6	Cultura e Engajamento	2	

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.2 Sobre as escalas de avaliação

Para avaliação quantitativa das questões do questionário criou-se duas escalas de classificação para compor a avaliação do grau de maturidade da qualidade 4.0 através deste instrumento. O conceito utilizado é o da escala *likert*, a qual é uma escala de medição utilizada em pesquisas de opinião e avaliação que mede o grau de concordância ou discordância de uma pessoa com uma afirmação ou declaração.

A 1ª escala visa avaliar qual nível de implementação ou evolução aquela proposição se encontra na organização de acordo com a visão do respondente. Essa avaliação é aplicada para cada uma das 20 questões propostas. A classificação é apresentada em uma escala de 1 a 5 conforme a tabela 3:

Tabela 3: Escala 1 segundo *Likert*

Nível	Classificação	Definição
1	Não existe	Condição onde há somente a consciência do fato ou da necessidade de se planejar para uma iniciar uma jornada, porém sem nenhuma aplicação na organização.
2	Estão iniciando	Envolve a aplicação pontual de algumas práticas ou tecnologias que suportem a gestão da qualidade.
3	Implementação	Considerado quando a organização já definiu seu plano e mapeou os processos que serão desenvolvidos, deixando de ter apenas aplicações pontuais.
4	Em consolidação	Considerado quando a aplicação de tecnologias está consolidada e aplicada de forma ampla e clara, permitindo que a organização já colete e contabilize os resultados destas práticas.
5	Em aperfeiçoamento	Refere-se a fase de melhoria e evolução do negócio a partir da utilização das ferramentas as quais permitam ganhos operacionais e alto nível de gestão da qualidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda escala criada visa quantificar o grau de importância da proposição apresentada para organização ou negócio sob avaliação pelo instrumento em questão. Trata-se de uma forma complementar para composição do nível de maturidade final, pois de maneira geral, este critério indica se no cenário sob avaliação, aquele tópico é ou não relevante. A segunda escala foi elaborada conforme níveis de 1 a 5, a mesma é demonstrada e explicada na Tabela 4.

Tabela 4: Escala 2 segundo *Likert*

Nível	Classificação	Definição
1	Nada importante	Trata-se de uma proposição nada relevante para gestão da qualidade aplicado ao negócio ou organização.
2	Ligeiramente importante	Sinaliza uma pratica ou tecnologia que se aplicada pode trazer alguma vantagem ou benefício que contribua positivamente na gestão da qualidade.
3	Moderadamente importante	Representa uma pratica relevante e que impacta no dia a dia da operação, mas não ainda como um diferencial.
4	Muito importante	É considerado quando a proposição é de alto impacto nos resultados ou rotinas da gestão.
5	Extremamente importante	Já pode ser vista como um diferencial e traz ganhos ou vantagens competitivas no mercado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.3 Seleção dos entrevistados e condução da coleta de dados

A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional do setor automotivo e autopeças, que possui 32 plantas em 14 países, com mais de 17 mil colaboradores em todo o mundo. A empresa é líder global na produção de rodas e em componentes estruturais nas Américas, tem foco em inovação e desenvolvimento da indústria automotiva.

A unidade estudada está localizada no estado de São Paulo, região do Vale do Paraíba e tem aproximadamente cinco mil funcionários e é dividida em dois centros fabris em um mesmo *site*.

Com relação a seleção dos participantes foram selecionados para participar da aplicação do questionário de pesquisa, pessoas com visão estratégica e gerencial da companhia, abrangendo os principais níveis hierárquicos da empresa desde o CEO, Presidente de Operações, diretoria de áreas funcionais como Engenharia, Qualidade e Inovação bem como

Gerência de Operações do site. As amostragens intencionais dos participantes foram realizadas nos dois centros, casos, da organização em questão.

Nesta etapa do trabalho, a amostragem realizada contou com a participação de 15 entrevistados, sendo 10 no caso 1 e 5 no caso 2. Após seleção dos entrevistados, procedeu-se com aplicação do questionário, que ocorreu da seguinte maneira:

- Apresentação dos objetivos da pesquisa e visão geral do tema e após confirmação do interesse de participação
- Confirmação do grau de conhecimento no tema e na indústria 4.0
- Classificação categórica dos respondentes quanto ao grau de formação, nível hierárquico e experiência no ramo da indústria de autopeças
- Inicia-se assim aplicação das questões propostas conforme descrito anteriormente.

A coleta de dados para este trabalho de pesquisa foi realizada em todos os casos de maneira assistida, ou seja, o pesquisador acompanhou toda a etapa de resposta do questionário, sendo esta realizada ou de maneira presencial ou de forma remota via vídeo conferência. Durante a condução dos questionários os participantes respondem inicialmente com relação a primeira etapa, composto por 20 perguntas para o critério de grau de evolução ou implementação destas práticas na respectiva unidade de negócio. Após isso, o participante é orientado a avaliar novamente as mesmas proposições, porém, considerando o segundo critério de avaliação completando nesta fase a avaliação da importância da aplicação da proposição apresentada na sua unidade de negócio e finalizando a coleta de dados para o participante em questão.

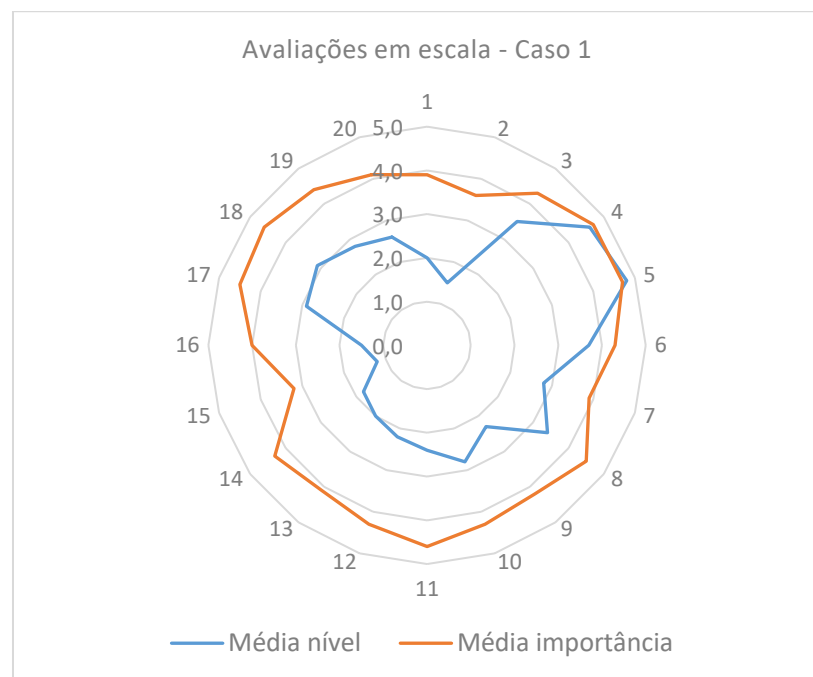
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após consolidação dos dados coletados nos questionários, e conforme preconiza a estrutura do estudo de caso, iniciou-se uma análise descritiva dos dados coletados com objetivo de proporcionar indicadores que permitam identificar as principais lacunas por dimensão e auxiliar na implementação das práticas da gestão da qualidade na indústria 4.0, bem como quais destas práticas são vistas como importante para o negócio e podem de alguma forma trazer vantagem competitiva para a companhia.

Para representar este cenário este trabalho propõe as seguintes análises do grau maturidade:

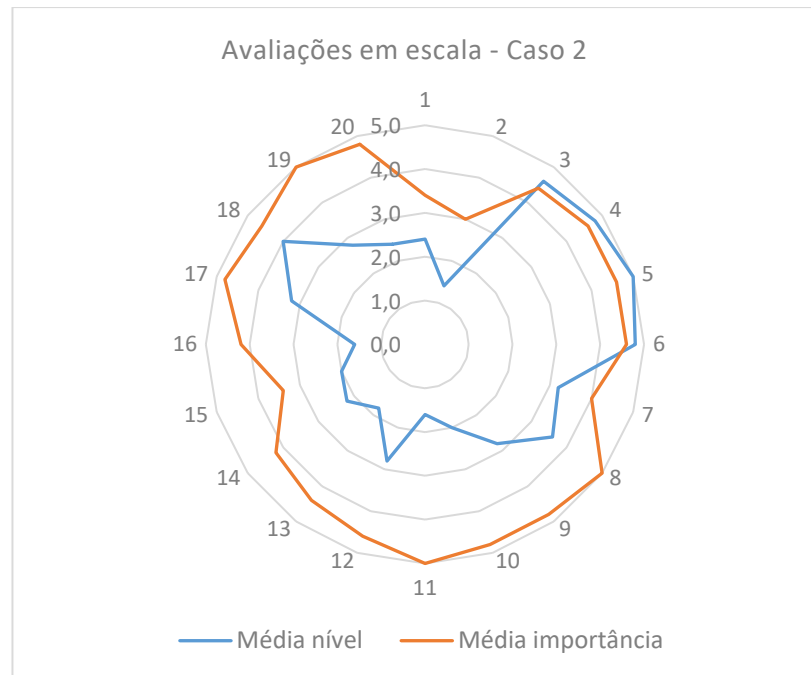
- I. Gráficos de Radar com a classificação dos níveis de evolução e importância atribuído por questão e caso aplicado (1 e 2). (Figuras 2 e 3)
- II. Gráfico de radar com a maturidade percentual por dimensão, caso 1. (Figura 4)
- III. Gráfico de radar comparativo do resultado final de maturidade dos casos em percentual por dimensão. (Figura 5)
- IV. Gráfico de barras com pontuação alcançada pelos dois casos avaliados. (Figura 6)
- V. Análise da dispersão das avaliações de nível e importância através do *boxplot*
- VI. Análise da dispersão do desempenho das dimensões

Figura 2: Gráfico de Radar por Questão – Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3: Gráfico de Radar por Questão – Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor

As figuras 2 e 3 compararam, dentro de uma mesma escala (1 a 5), o comportamento do nível de aplicação ou evolução *versus* o nível de importância para cada questão. Essa análise auxiliou no processo de identificação dos principais *gaps* orientando a organização no processo de evolução das práticas de gestão da qualidade no contexto da I4.0. No entanto, importante reforçar que não é o foco deste trabalho analisar as causas ou avaliar os resultados encontrados e sim avaliar se o instrumento desenvolvido foi capaz de gerar um diagnóstico que suporte uma tomada de decisão, bem como ser aplicado longitudinalmente para comparar a evolução dos processos.

Com base nos dados do gráfico é possível notar que existe uma distância entre as curvas de importância e nível de maturidade, a qual representa o *gap* citado no parágrafo anterior. Em termos gerais para o caso 1, exceto pela questão 9, as linhas dos gráficos apresentam formato das curvas similares, ou seja, onde há indicação de uma menor importância. Há também um recuo no nível de maturidade da aplicação em questão, porém a recíproca não pôde ser observada.

Ainda em caráter conceitual e explicativo para as questões 4 e 5 nota-se maior aderência entre os resultados encontrados uma vez que ambas foram apontadas como relevantes para o negócio e apresentam grau de evolução/implantação considerado como elevado. Para a importância das proposições 4 e 5 foi encontrada a média de 4,7 para ambas, o que nos permite classificá-las como extremamente importante, e, para os resultados de nível de evolução foram

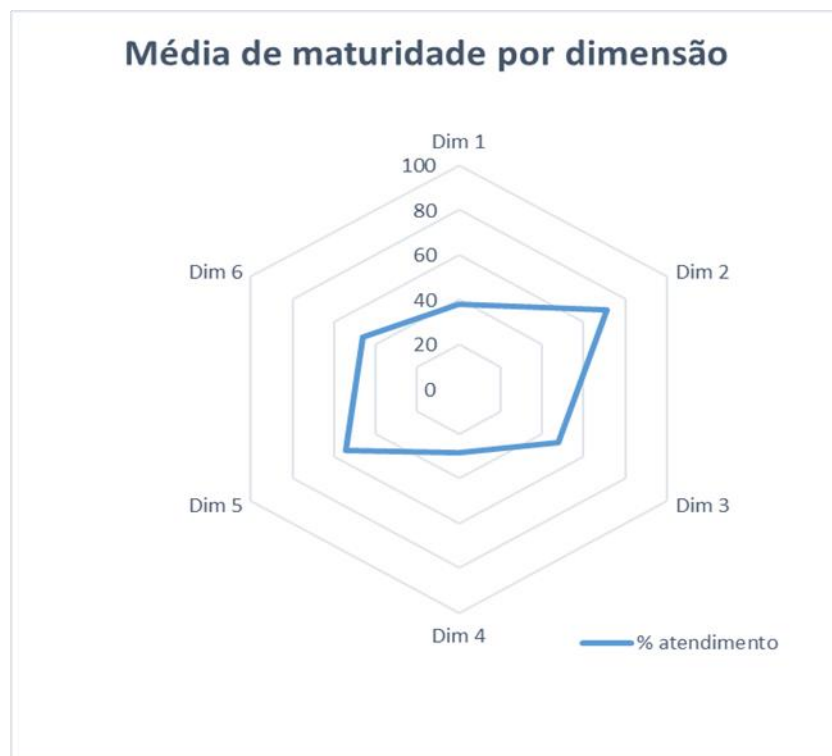
encontrados os valores de 4,6 e 4,8, respectivamente, resultado este que representa uma classificação de uma prática consolidada e em aperfeiçoamento.

Importante ressaltar que não houve nenhuma proposição onde o grau de importância se apresentou menor que o nível de evolução, no caso 1, porém no caso 2 as questões 3 a 5 mostraram níveis ligeiramente superiores, o que também caracteriza um *gap*, pois supõe-se que houve aplicação de esforços ou recursos no desenvolvimento de uma prática não relevante, não sendo possível extrair conclusões neste gráfico.

Para o caso 2, observa-se um gráfico de radar um pouco menos aderente quanto as duas curvas, ou seja, nota-se um comportamento ligeiramente mais difuso com relação ao que se considerou importante versus o grau de evolução classificado. No entanto para as questões 4, 5 e 6 houve aderência significativa, inclusive com os valores para o nível de implementação maiores do que o nível de importância apontado pelos executivos entrevistados.

Para o gráfico referente a figura 4, têm-se o grau de maturidade em (%) para o caso 1

Figura 4: Gráfico da média em percentual por dimensão



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste gráfico, que representa a média final de maturidade em (%) em cada dimensão, onde:

$$\text{Maturidade(\%)} = \text{Nota final calculada} / \text{Nota máxima possível}$$

Sendo assim, a análise do gráfico acima ilustra uma tendência de maior evolução (71%) e consequentemente maior maturidade nas práticas de gestão da qualidade durante o Desenvolvimento de Produto – Dimensão 2. Este resultado está alinhado com a percepção dos entrevistados e com a aplicação de softwares e ferramentas de simulação em todas as fases do desenvolvimento e concepção de novos produtos.

Com relação a **Dimensão 1** – Foco no cliente, o grau de maturidade ficou em aproximadamente 38%, porém para uma análise completa há de se considerar que algumas das questões propostas foram entendidas como não tão relevantes ao tipo de relação existente entre a organização sob avaliação e seus respectivos clientes (B2B).

Na **Dimensão 3**, gestão do processo de fabricação, o grau de maturidade apresenta resultado de 48% do total possível, porém ao analisarmos as notas para grau de importância no gráfico de radar I podemos notar que os entrevistados entendem as práticas como relevantes o que sugere ser uma dimensão que requer evolução/ desenvolvimento. Fato este que se apresenta coerente com a percepção prática, uma vez que a gestão dos processos dentro contexto I4.0 é um dos principais tópicos abordados pelas organizações, porém ainda não se encontram processos totalmente consolidados nesta dimensão.

Em relação à **Dimensão 4** – Integração dos Sistemas nota-se o menor nível de desenvolvimento de todas as 6 avaliadas, abaixo de 30%. Esta dimensão engloba as questões de 11 a 16, onde, conforme análise do gráfico radar por questão, a questão 11 é que apresenta a maior lacuna entre grau de proposição *versus* o nível de evolução, fato este que, acrescido de tendência similar nas demais questões da dimensão contribui para o baixo valor desta.

Importante observar que com base nestas comparações o instrumento aplicado foi capaz de identificar a área que requer atenção, pois, novamente, foi identificado lacuna significativa entre grau de importância *versus* nível de implementação. Assim como na dimensão 3, as proposições da dimensão, podem demorar a atingir graus elevados de implementação nos processos, devido a custos, complexidade ou inclinação da organização em iniciar uma jornada para tal.

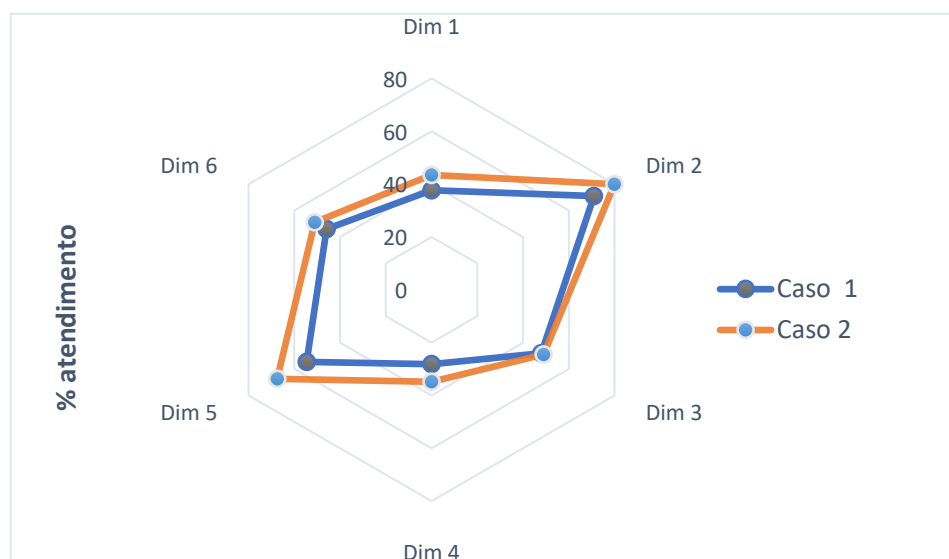
Esta questão é o que a **Dimensão 5** avalia e para a qual na avaliação dos entrevistados o caso atingiu uma pontuação de 54,6%. As perguntas 17 e 18 compõem esta dimensão e avaliam a existência de um plano de investimento consistente bem como a visão estratégica da liderança no contexto. Para estas questões foram atribuídas maior grau de importância e níveis atuais medianos, conforme figura 4 e 5, o que torna uma dimensão importante e com oportunidades de evolução para melhorar a avaliação de maturidade final.

Por fim, a **Dimensão 6**, relacionada a cultura organizacional no contexto da Q4.0 e representada pelas questões 19 e 20, também apresentou resultados medianos de maturidade 46,4% onde o *gap* se encontra no nível de evolução uma vez que a importância da dimensão também foi considerada alta. É importante lembrar que a avaliação da cultura organizacional é um processo contínuo e deve ser realizada regularmente para garantir que a empresa esteja sempre em consonância com seus valores e objetivos, o que corrobora com a avaliação longitudinal do grau de maturidade a partir do instrumento desenvolvido, reforçando que não é foco deste trabalho a avaliação da cultura da organizacional das empresas participantes.

Em suma, o instrumento conseguiu capturar diferenças nos resultados para as dimensões avaliadas, tanto na avaliação do nível de evolução da proposição quanto no grau de importância destas para o negócio. É fato que a maior parte dos entrevistados entende que o tema como um todo é de grande relevância, porém ainda assim o instrumento foi capaz de refletir diferenças como ilustrado nos gráficos de radar anteriores.

Nos resultados apresentados pelo gráfico da figura 5 pode-se dizer que se obteve uma boa congruência entre as figuras que representam os dois casos. A congruência, normalmente, não é um conceito que é aplicado diretamente em gráficos de radar, pois a congruência é uma propriedade geométrica que se aplica a figuras planas e sólidas. No entanto, neste caso, é útil verificar a congruência entre os diferentes gráficos de radar para analisar as semelhanças e diferenças entre eles, dado que temos as mesmas variáveis sob avaliação. Assim, o resultado encontrado está coerente e é compreensível, uma vez que, apesar de algumas peculiaridades inerentes de cada operação, na prática os dois centros fabris estudados operam no mesmo local, sendo muito semelhante os clientes e segmento de atuação.

Figura 5: Gráfico de radar comparativo das dimensões

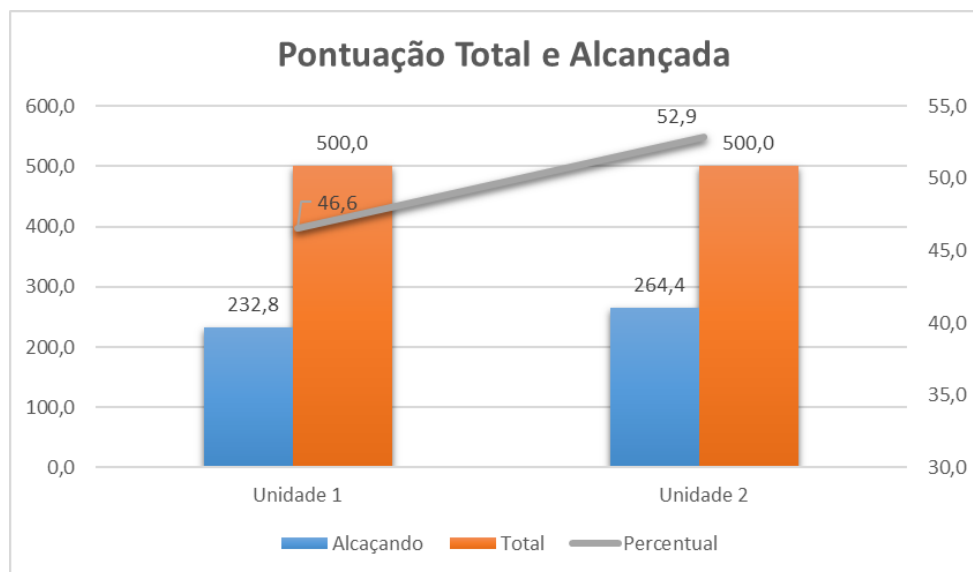


Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 PONTUAÇÃO TOTAL POR CASO

Consolidando a análise dos resultados encontrados temos a figura 6 que representa a pontuação total por caso e o sumário final do percentual de pontos alcançados em relação a máxima possível, por caso estudado.

Figura 6: Pontuação total consolidada



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, os resultados apresentados podem ser considerados equivalentes, e, refletem a mesma tendência identificada nos gráficos de radar anteriores, com ligeira superioridade para unidade de chassis. Sendo assim ambos os casos, estão próximos a 50% de atendimento na aplicação de ferramentas na gestão da qualidade 4.0 avaliadas pelo escopo desta dissertação.

4.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS QUESTÕES ATRAVÉS DO BOXPLOT

Um *boxplot* é um gráfico estatístico que fornece informações sobre a distribuição de um conjunto de dados. Ele é composto por um retângulo que representa os valores entre o primeiro e terceiro quartis (25% a 75% dos dados), uma linha que representa a mediana (50% dos dados) e dois segmentos de linha que se estendem a partir do retângulo, que representam a variação dos dados. Pontos fora dos limites são chamados de valores discrepantes (*outliers*), e também podem ser representados, dependendo da distribuição. Além disso a análise de *boxplots* pode

ser útil para identificar tendências nas distribuições, fornecendo *insights* importantes sobre semelhança ou diferença entre grupos.

O *boxplot* para dados em escala *likert* mostrará a mediana, os quartis, limites inferior e superior e possíveis valores discrepantes. No entanto, a interpretação dos resultados deve ser feita com cautela e considerando as limitações da escala *likert*. Por exemplo, não faz sentido calcular a média ou o desvio padrão para dados de escala *likert*, uma vez que esta é uma escala ordinal, o que significa que as categorias não têm uma escala numérica contínua. Além disso, a mediana representada pelo gráfico para o caso de dados oriundos de escala *likert* e especialmente para caso em que a quantidade de respostas é par, o valor da mediana pode ser decimal e não corresponder aos valores da escala. Para estes casos considerar-se-á o valor após arredondamento mais próximo da escala como referência. Assim, pode-se ter uma análise descritiva para cada uma das perguntas aplicadas no questionário, no entanto, neste tópico apresentou-se análise parcial de algumas questões com variações ou medida de posição mais expressivas para os casos avaliados quanto ao critério de nível de evolução e importância de ambos os casos.

Iniciando-se a análise do resultado através do *boxplot* por questão, foram elencadas as questões mais relevantes considerando-se os critérios de maior ou menor amplitude interquartílica bem como mediana nos extremos e representação clássica de um *boxplot* para ambos os casos e critérios avaliados (evolução e importância).

A Amplitude interquartílica (AIQ) é uma medida de dispersão estatística que representa a diferença entre o valor do terceiro quartil e o valor do primeiro quartil de um conjunto de dados. Em outras palavras, a AIQ é a diferença entre o valor que divide os 25% dos dados mais baixos do conjunto e o valor que divide os 25% dos dados mais altos do conjunto.

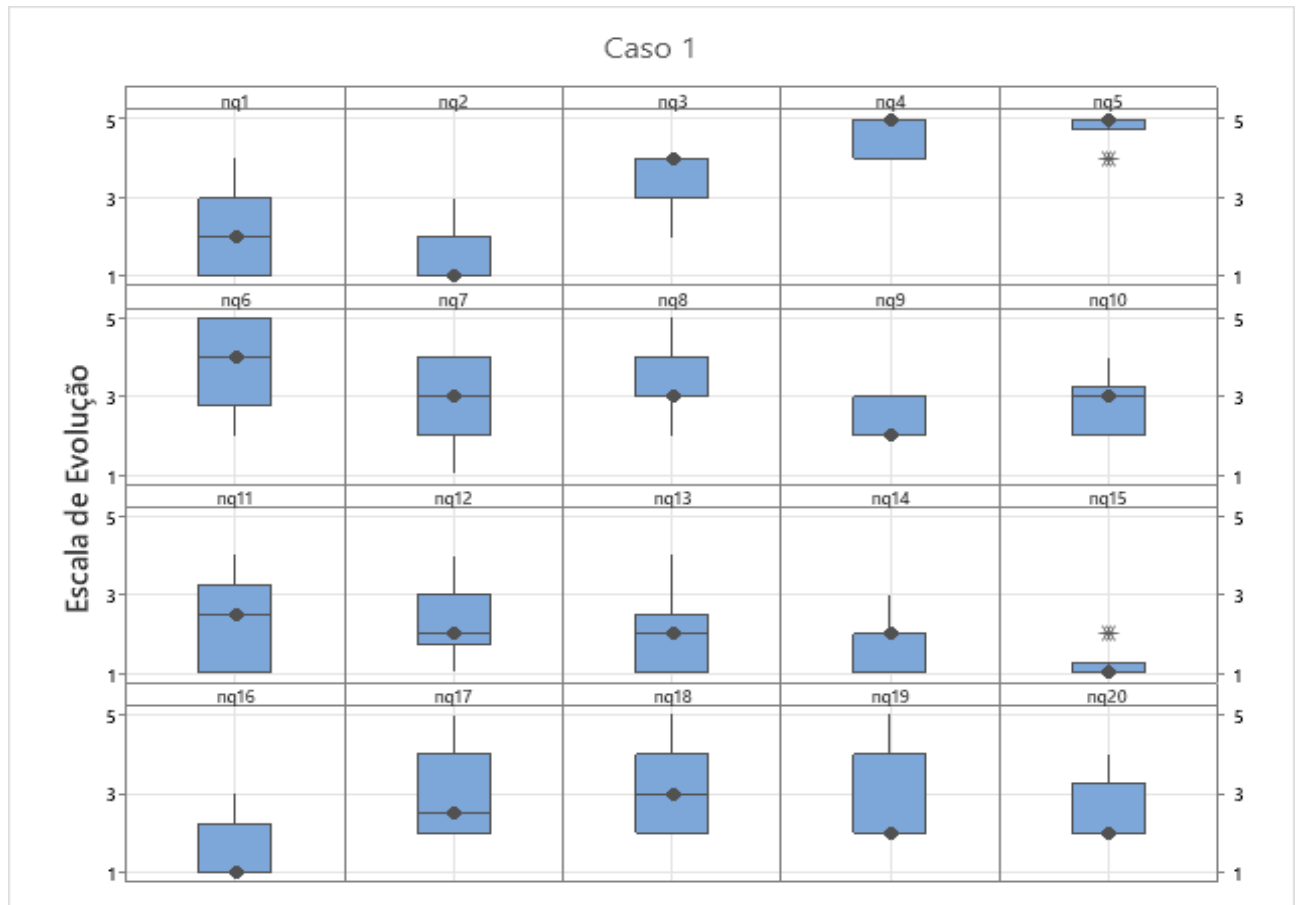
4.2.1 Análise para o critério de evolução aplicado ao caso 1

Tem-se neste tópico as seguintes análises para os resultados representados na figura 7.

Questão 2: proporciona uma experiência digital aos clientes no processo de venda e acompanhamento do processamento de produtos. O *boxplot* tem AIQ de (1) e mediana também com valor (1) dado que o valor 1 é o menor valor da escala nota-se que metade das notas atribuídas foram nota (1) e que 50% das notas estão com valores entre 1 e 2, assim esta é uma proposição classificada com menor nível de evolução. Desta forma, para esta proposição há concordância da maioria dos entrevistados que o nível de aplicação desta tecnologia está na fase inicial e de conscientização, o que pode sinalizar uma área potencial para desenvolvimento.

No entanto, é importante considerar que dado a característica do modelo de negócio, no qual o caso avaliado não fornece ao cliente final (B2C) e sim para a montadora de veículos (B2B) onde os produtos são itens de produção seriada com demandas e características previamente definidas pela própria montadora, não havendo atualmente uma interface com cliente final.

Figura 7: *Boxplot* por proposição para nível de evolução – Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Questão 4: durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas digitais de “design” (CAD): O boxplot descreve AIQ de (1) porém com mediana de (5) considerando –se a escala das respostas de 1 a 5, dado ao valor da mediana nota-se que para mais da metade das avaliações foi atribuído valor de (5). Como não há traço em nenhum dos dois sentidos observa-se que o menor valor atribuído nesta questão foi (4). Tem-se, portanto, uma proposição em que houve baixa dispersão entre os avaliadores, pois todos classificaram o nível de utilização como consolidado ou até mesmo na fase de aperfeiçoamento, o que representa que há domínio por parte da organização na questão. O uso de ferramentas de CAD pode ser considerado uma premissa para as organizações que pretendem se lançar em uma

jornada de maturidade nas rotinas de desenvolvimento de produto, dentro do contexto da gestão da Q4.0. Importante considerar que nesta etapa, não está sob análise a importância da proposição e somente o nível de evolução da mesma.

Questão 5: durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas de simulações (CAE). Esta questão apresenta um *boxplot* bem peculiar comparando-se com as demais questões, e foi a que apresentou menor variabilidade nas respostas, pois tem a menor AIQ observada (0,25) e mediana de (5). Importante considerar que seu *boxplot* apresentou como *outlier* a nota 4 dado a baixa dispersão apresentada, o que nos permite concluir que esta proposição teve maior atribuição de nota (5) entre os avaliadores. Desta forma esta é a questão que apresentou maior aderência na avaliação quanto ao nível de evolução de aplicação da proposição, bem como as maiores notas atribuídas para a questão. Este resultado representa uma rotina na dimensão de desenvolvimento de produto bastante evoluído e explorado pela organização, já permitindo que a organização entre na fase de otimização e aperfeiçoamento, fomentando a excelência operacional sob a ótica da empresa. Frente aos conceitos da indústria 4.0, a utilização de ferramentas de simulação aplicadas ao desenvolvimento de produto é fundamental para que se alcance elevado nível de maturidade na gestão da qualidade do produto.

Questão 6: durante a fase de desenvolvimento do processo são aplicadas ferramentas de modelagem e simulação de desempenho dos processos. O *boxplot* apresenta uma das maiores AIQ observadas com valor de (2,25) e mediana de (4), ou seja, novamente 50% ou mais das avaliações tiveram nota maior que (4) porém, avaliando o gráfico nota-se que a maior dispersão dos valores atribuídos se concentra para notas menores que (4). Está é uma questão que representa um resultado bastante disperso, com avaliações variando desde a fase de implementação até a fase considerada como aperfeiçoamento (2 a 5). Assim, é interessante uma análise cuidadosa por parte da organização para avaliar se o resultado representa uma oportunidade para desenvolvimento. Como os avaliadores pertencem as áreas funcionais distintas, supõe-se que há práticas mais consolidadas em determinados processos, a exemplo de simulações de processo de estampagem, do que em outros, fato este que pode ter contribuído com o resultado encontrado.

Questão 12: as informações digitais coletadas são precisas e de fácil acesso além de garantir a rastreabilidade do produto. Esta questão foi escolhida como uma questão expressiva uma vez que é uma representante clássica do gráfico de *boxplot* pois tem a representação da mediana, não coincidente com quartis 1 ou 3, e traços de amplitude em ambos os sentidos representando os valores 25% menores – inferiores e 25% maiores – superiores. Neste caso

observamos a mediana de (2) com distribuição dos valores dentro da faixa da AIQ (1,25) porém mais dispersa acima da mediana até o terceiro quartil com valor (3) e com valores mais concentrados, menor dispersão até o quartil 1. Desta forma pode-se considerar que praticamente metade dos avaliadores concorda que está é uma proposição a qual apresenta a evolução está na sua fase inicial de consideração. Apesar de não ser objetivo desta análise, nesta etapa, avaliar a importância da proposição, vale considerar que o conceito de digitalização é requisito básico para a evolução da maturidade digital nas organizações e bastante difundido no mercado automotivo. Outra consideração importante é que a implementação e consolidação deste processo de digitalização e gestão da informação requer recursos e prazos consideráveis, sobretudo em organizações de grande porte, como a deste estudo de caso, refletindo assim uma dimensão como oportunidade potencial.

Questão 15: existem tecnologias de realidade aumentada empregada nos processos com interface humana. A exemplo da questão 5, esta também apresentou baixa AIQ, porém com tendência de valores no sentido de baixo nível de utilização da proposição, ou seja, a mediana calculada foi (1) o que representa uma proposição avaliada com a menor nota em mais de 50% das avaliações. Devido à baixa AIQ as avaliações de nível (2) foram categorizadas como *outlier* pelo gráfico. Neste caso tivemos baixa dispersão entre as avaliações, gerando um cenário de concordância entre os participantes de que a proposição ainda não está sob desenvolvimento na organização de uma maneira geral. Este tipo de tecnologia a que se refere a questão pode representar um grande potencial de evolução dos níveis de maturidade, principalmente nas rotinas de inspeção ou até mesmo manutenção, a depender das diretrizes e estratégias de investimento que a organização definiu. Desta forma a análise da dispersão das respostas através do *boxplot* permite observar que o instrumento desenvolvido foi capaz de capturar diferentes percepções, dado um mesmo questionamento.

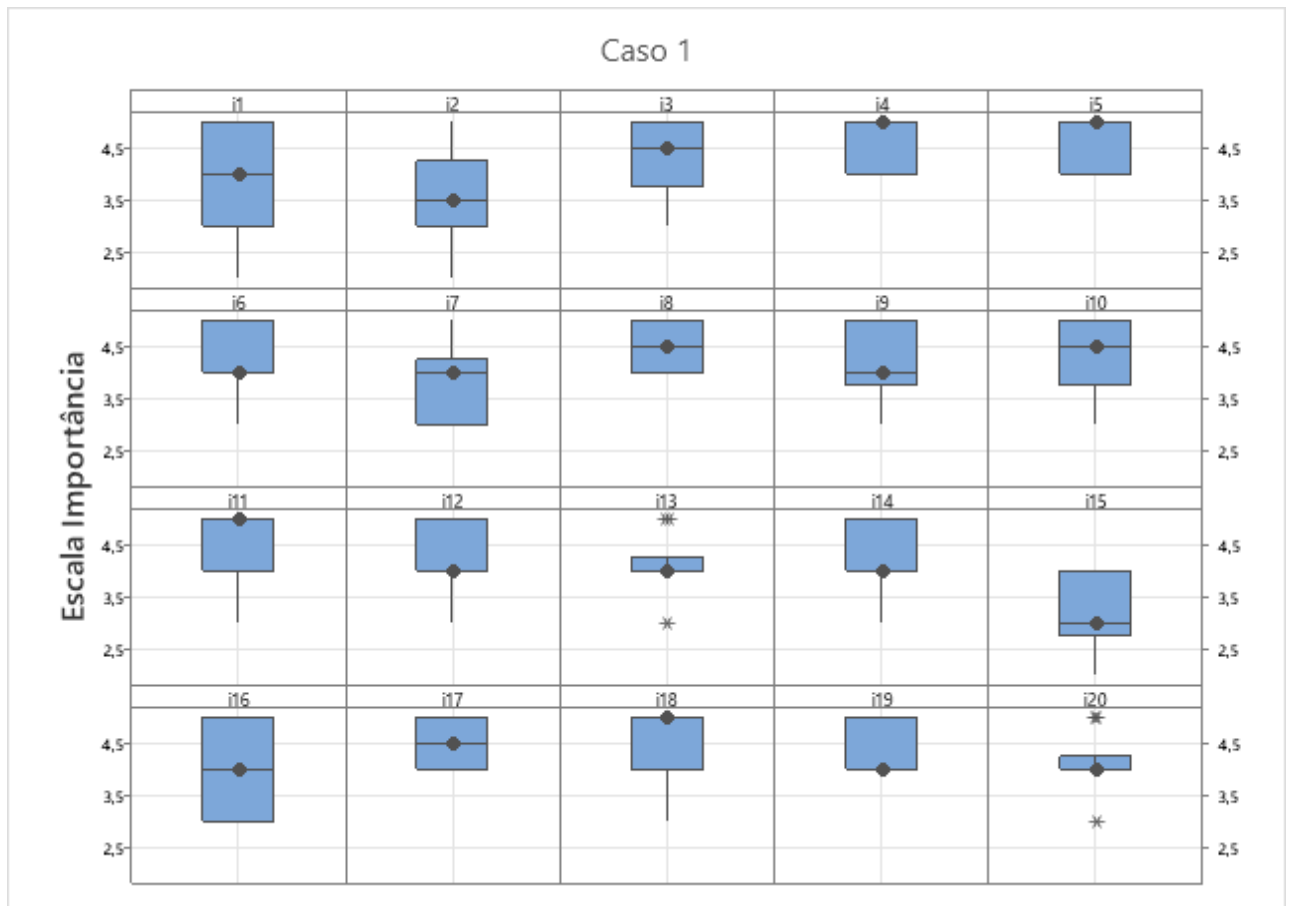
4.2.2 Análise para o critério de importância aplicado ao caso 1

Tem-se neste tópico as seguintes análises para os resultados apresentados na figura 8.

Questão 2: proporciona uma experiência digital aos clientes no processo de venda e acompanhamento do processamento de produtos. Nesta questão observa-se uma mediana (3,5) onde metade das avaliações ao menos estão entre os níveis moderadamente importante a muito importante e a dispersão total representada pelos traços entre os valores (2) e (5). Esse resultado indica uma dispersão entre parte dos avaliadores quanto a importância da proposição no modo

de operação do negócio. Assim, a importância da proposta não está como extremamente relevante ao negócio, sendo nesta questão a segunda menor mediana encontrada, provavelmente dado a característica B2B do caso avaliado, conforme já citado anteriormente. A estrutura de operação e fornecimento direto a montadora com característica de produção seriada não indica requerer meios que proporcionem maior interação ou experiência aos clientes, na visão dos participantes, uma vez que todo este tipo de demanda é operado de forma “departamental” sem interface com o cliente final. Essa proposição foi avaliada quanto ao nível de evolução como baixo desenvolvimento, mediana (1), e quanto a importância como uma das menores dentre as 20 proposições, o que sugere que a organização deve avaliar se esta é uma prática prioritária frente a um plano de desenvolvimento para a organização.

Figura 8: *Boxplot* por proposição para nível de importância – Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Questão 5: durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas de simulações (CAE). A análise do grau importância desta proposição traz uma perspectiva interessante pois a exemplo do *boxplot* desta mesma quanto ao nível de evolução,

caracterizou-se uma concordância entre os participantes além de um resultado classificado como alto para a aplicação. Assim, para a importância tem-se um cenário similar, com baixa dispersão onde todas as avaliações estão compreendidas entre os dois critérios máximos de importância (4) e (5), pois a AIQ é (1), mediana (5) e sem traços além dos quartis. Isso reflete uma aderência entre as avaliações e sugere que o entendimento da proposição pode estar mais consolidado. De fato, a aplicação das ferramentas de simulação CAE, que estão disponíveis no mercado de longa data, sustentam o desenvolvimento da organização dentro da dimensão 2 na qual a proposição está contida. Além disso é perceptível, como pesquisador observador, que não há dúvidas entre os avaliadores sobre a importância desta dimensão e dos resultados já realizados ao longo do tempo pela organização em toda a fase de desenvolvimento e projeto do produto.

Questão 8: monitoramento da capacidade dos processos de fabricação em tempo real de toda a operação. Esta proposição reflete um exemplo onde as avaliações estão divididas ao meio, ou seja, metade das avaliações obteve atribuição (4) e metade obteve (5), pois a mediana divide a AIQ ao meio, sendo que todos os dados estão compreendidos entre este intervalo. Este resultado é compreensível ou até mesmo esperado dado que o tema capacidade de processo é recorrente dentro do meio automotivo e indústria manufatureira, onde, quando sob controle e com desdobramento do conceito correto dessa ferramenta pode trazer ganhos de produtividade, eficiência nos processos, permitir decisões mais descentralizadas e rápidas além de ser base para integração de sistemas. Isso reflete a importância elevada atribuída a esta proposição que integra a dimensão 3.

Questão 13: existe tecnologia aplicada para integrar o controle dos diversos processos em tempo real monitorando os ganhos de performance. Esta proposição tem a menor dispersão entre as respostas para o caso 1, AIQ (0,25) juntamente com a questão 20. Nesta temos os valores (3) e (5) classificados como *outlier* no *boxplot* dado a representatividade das respostas com valor (4) entre os avaliadores. Estes resultados indicam a percepção geral de uma prática classificada como muito importante (4) para a organização frente a uma jornada de implementação da Q4.0, dentro da dimensão 4 que foca na integração e gestão de sistemas. Ainda de acordo com as avaliações, técnicas que integrem os diversos processos ou sistemas da empresa, gerando informações em tempo real, agilizam e descentralizam a tomada de decisão evitando propagação de erros para sistemas ou processos subsequentes o que pode impulsionar a performance da organização a partir do controle e desenvolvimento da cadeia de processos.

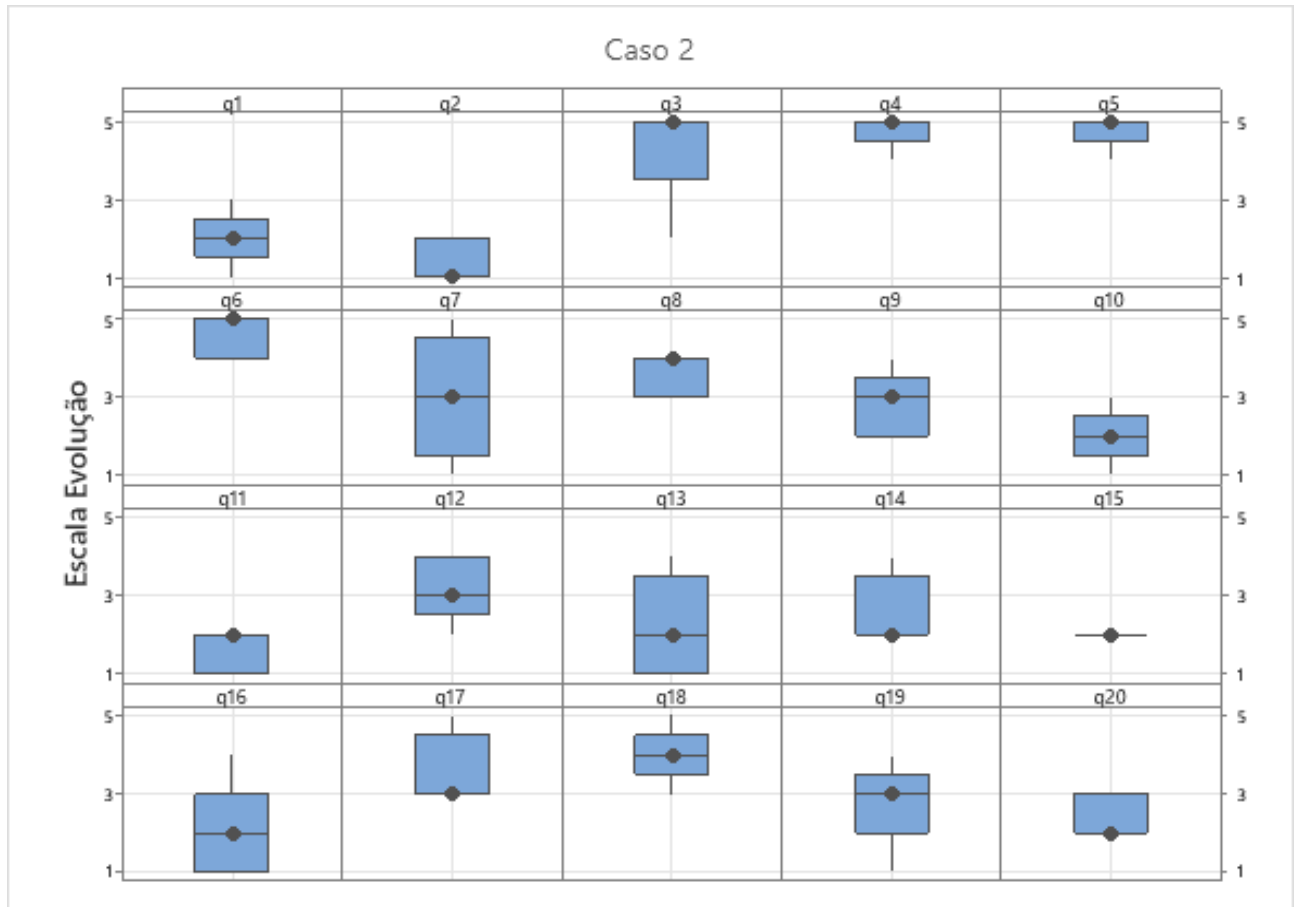
Questão 15: existem tecnologias de realidade aumentada empregada nos processos com interface humana. Esta questão é uma representante das questões que apresentaram dispersão assimétrica dos resultados, deslocado para baixo, quanto a atribuição da importância. Esta proposição teve mediana com valor (3) com AIQ (1,25) além do traço se estendendo até (2) somente no sentido inferior. Assim, o resultado sugere que a proposição é vista com relativa aderência, onde 50% das respostas foi classificada como moderadamente a muito importante ao negócio. No entanto, observa-se que até 25 % das avaliações foram para uma proposição ligeiramente importante. Ainda conforme comentários dos avaliadores, o uso de realidade aumentada em linha de produção seriada e de alto volume, ainda não se apresenta como uma prática facilmente integrável ao processo, porém para as rotinas das áreas de suporte como ferramentaria e manutenção pode ser aplicada com ganhos em assertividade, mão de obra e menor tempo na resolução de problemas, entre outros. Uma comparação breve do resultado desta mesma proposição sob o critério nível de evolução, indicou níveis de utilização em sua fase inicial com dispersão dos dados mais reduzida comparando-se com importância, o que indica maior concordância entre nível de aplicação e maior dispersão entre o grau de importância, o que sugere ser esta uma questão que requer atenção quanto ao que de fato representa dentro do contexto da organização.

Questão 19: existe uma cultura organizacional que estimule o desenvolvimento e engajamento dos colaboradores para implementação de uma jornada da qualidade 4.0. Mais da metade dos valores foram (4) e traduzem uma percepção aderente entre como os executivos participantes avaliam a influência da cultura organizacional em um processo de maturidade e evolução da qualidade dentro da indústria 4.0. Analisando os resultados do nível de evolução, nota-se que a proposição teve a maioria das avaliações como estágio inicial de evolução, e uma dispersão maior quando comparando com resultado de importância, ou seja, no critério nível tanto a posição quanto a dispersão têm comportamento diferentes, menor e maior respectivamente, o que remete há uma maior concordância quanto a importância da cultura organizacional fomentando o desenvolvimento da organização. Assim, a percepção de quanto esta cultura já está evoluída ou contribuindo com os resultados não está tão aderente como a percepção da importância da existência da mesma.

4.2.3 Análise para o critério de evolução aplicado ao caso 2

Este tópico analisa os resultados obtidos no caso 2, representados na figura 09.

Figura 9: *Boxplot* por proposição para nível de evolução – Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Questão 2: *proporciona uma experiência digital aos clientes no processo de venda e acompanhamento do processamento de produtos*. O boxplot tem AIQ de (1) e mediana também com valor (1) dado que o valor 1 é o menor valor da escala nota-se que metade das notas atribuídas foram nota (1) e que 50% das notas estão com valores entre 1 e 2, assim esta é uma proposição classificada com menor nível de evolução. Desta forma, para esta proposição há concordância da maioria dos entrevistados que o nível de aplicação desta tecnologia está na fase inicial e de implantação, o que pode sinalizar uma área potencial para desenvolvimento. No entanto, assim como no caso 1, é importante considerar a característica do setor produtivo, no qual a unidade não ocorre o fornecimento ao cliente final (B2C) e sim para a montadora de veículos (B2B) onde os produtos são itens de produção seriada com demandas e características previamente definidas pela própria montadora, não havendo atualmente uma interface entre cliente final e a unidade avaliada.

Questão 4: *durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas digitais de “design” (CAD)*: O boxplot descreve AIQ de (0,5) porém com mediana

de (5) considerando –se a escala das respostas de 1 a 5, dado ao valor da mediana nota-se que para mais da metade das avaliações foi atribuído valor de (5), além desta coincidir com o terceiro quartil. Como neste caso há traço abaixo quartil 1, observa-se que o menor valor atribuído nesta questão foi (4). Assim como no caso 1 tem-se, uma proposição em que houve baixa dispersão entre os avaliadores, pois todos classificaram o nível de utilização como consolidado ou até mesmo na fase de aperfeiçoamento, o que representa que há domínio por parte da organização na questão. O uso de ferramentas de CAD pode ser considerado uma premissa para as organizações que pretendem se lançar em uma jornada de maturidade nas rotinas de desenvolvimento de produto, dentro do contexto da gestão da Q4.0. Importante considerar que nesta etapa, não está sob análise a importância da proposição e somente o nível de evolução desta.

Questão 5: durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas de simulações (CAE). Esta questão apresenta um *boxplot* com comportamento bem peculiar comparando-a as demais questões, e assim como a anterior foram as duas que apresentaram menor variabilidade nas respostas, pois tem a menor AIQ observada (0,5) e mediana de (5). Desta forma esta questão é que apresentou a maior aderência na avaliação quanto ao nível de evolução de aplicação da proposição, juntamente com a questão 4. Este resultado representa uma rotina na dimensão de desenvolvimento de produto bastante evoluído e explorado pela organização, o que caracteriza a organização na fase de otimização e aperfeiçoamento, fomentando a excelência operacional sob a ótica da empresa. A utilização de ferramentas de simulação aplicadas ao desenvolvimento de produto é fundamental para que se alcance elevado nível de maturidade na gestão da qualidade do produto dentro da I4.0.

Questão 6: durante a fase de desenvolvimento do processo são aplicadas ferramentas de modelagem e simulação de desempenho dos processos. Para este caso tem-se AIQ com valor (1) e mediana de (5) valores os quais representam uma maior evolução e menor dispersão entre as avaliações para o caso 2. Importante considerar que a aplicação de modelagem e simulação de processos de estampagem na fase de desenvolvimento é realmente utilizada dada a característica do segmento com grande variabilidade nos produtos e complexidade de componentes que requerem ferramentas de modelagem de ferramentas para que se permita assertividade necessária frente aos requisitos de tempo de desenvolvimento e recursos financeiros disponíveis, estando a margem de erro a cada dia mais apertada ou até mesmo inexistente.

Questão 7: são aplicadas técnicas de manufatura aditiva que permitam decisões mais assertivas e rápidas na construção de protótipos. O *boxplot* apresenta uma das maiores AIQ

observadas com valor de (3) e mediana de (3), ou seja, para este caso em que número de elementos na amostra é ímpar, a nota 3 divide ao meio a distribuição dos resultados e avaliando o gráfico nota-se que a dispersão dos valores atribuídos está simétrica, com formato clássico de um *boxplot*. Esta é uma questão que representa um resultado bastante disperso, com avaliações variando desde a fase onde não há aplicação até a fase considerada como aperfeiçoamento (1 a 5). Assim, é interessante uma análise cuidadosa por parte da organização para avaliar se o resultado representa uma oportunidade para desenvolvimento. Com base nesse resultado entende-se que há percepções diferentes sobre o conceito, ou sobre a utilização da técnica em questão nos processos. No entanto uma comparação breve entre a avaliação do CEO com as demais repostas, considerando que este tem uma visão mais ampla da organização, indica que nível inicial de utilização é o mais adequado para esta proposição, com algumas aplicações já definidas, porem pontuais as rotinas de desenvolvimento.

Questão 12: as informações digitais coletadas são precisas e de fácil acesso além de garantir a rastreabilidade do produto. Neste caso o *boxplot* tem a representação da mediana, não coincidente com quartis 1 ou 3, e traços de amplitude somente representando os valores 25% menores – inferiores. Neste caso observa-se a mediana de (3) com distribuição dos valores dentro da faixa da AIQ (1,5) porem mais dispersa acima da mediana até o terceiro quartil com valor (4). Desta forma pode-se considerar que praticamente mais da metade dos avaliadores concorda que está é uma proposição a qual a evolução está na sua fase implementação e consolidação. Como citado anteriormente, o processo de digitalização e gestão da informação pode requerer recursos e prazos consideráveis, sobretudo em organizações de grande porte, como a deste estudo de caso, portanto o resultado de maneira geral indica uma certa evolução. Há de se considerar também as diferentes áreas funcionais dos participantes, as quais podem apresentar diferentes estágios de evolução e influenciarem na distribuição dos resultados, dada a percepção influenciada por aplicações pontuais.

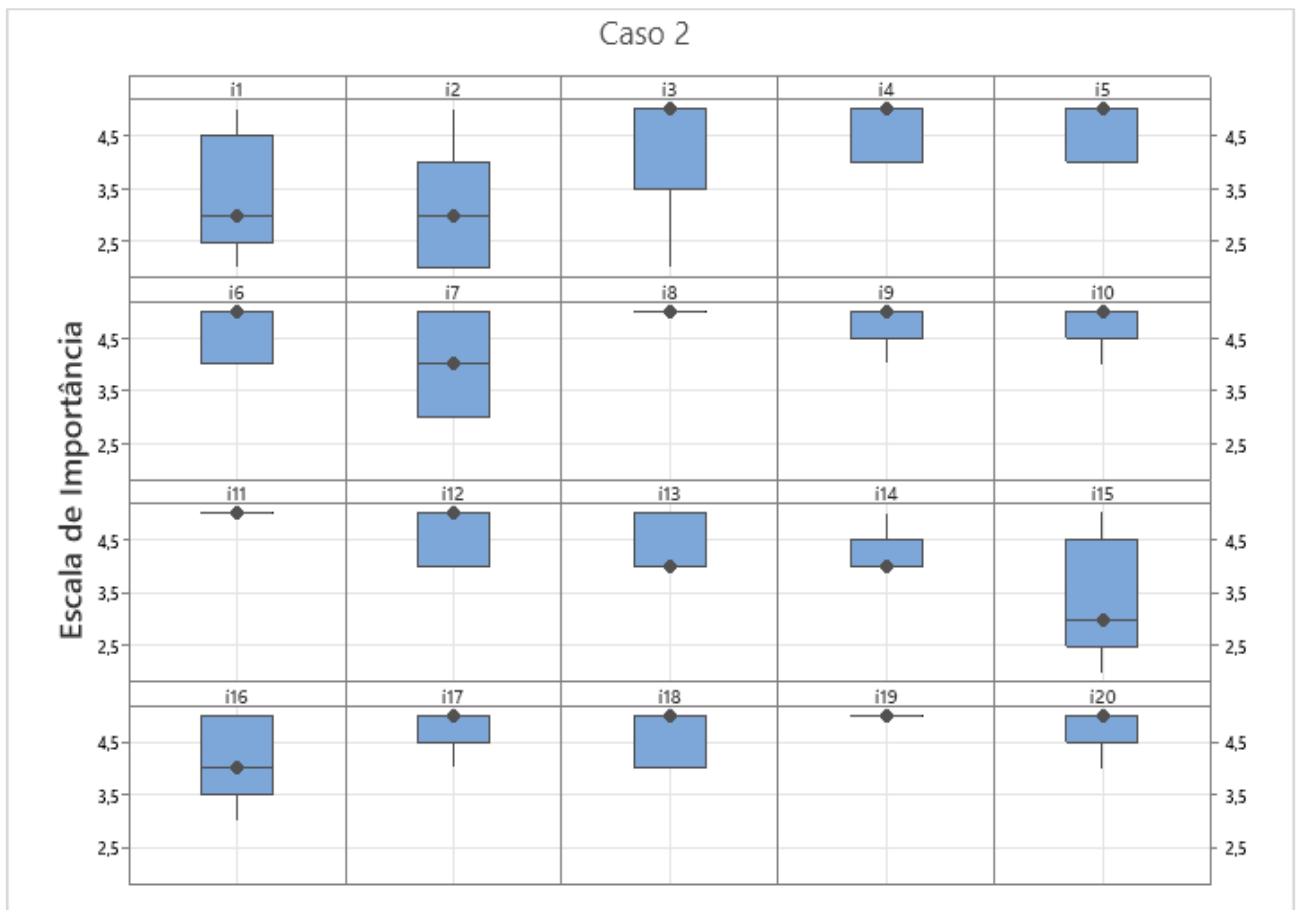
Questão 15: existem tecnologias de realidade aumentada empregada nos processos com interface humana. Esta questão tem baixa AIQ (1), porém com tendência de valores no sentido de pouca utilização da proposição, ou seja, a mediana calculada foi (2), coincidente com o quartil 1 o que representa uma proposição avaliada com nota (2) em mais de 50% das avaliações, seguindo até os outros 75% dos dados compreendidos com nota (3). Neste caso pode-se considerar como baixa a dispersão entre as avaliações, porém não a menor dispersão entre as questões, gerando um cenário de concordância entre os participantes de que a proposição ainda não está sob desenvolvimento na organização. A aplicação deste tipo de tecnologia em maior escala nos diversos processos, e não somente em pontos específicos, pode

trazer impactos diretos nas rotinas de manutenção e inspeções de qualidade, permitindo tomadas de decisão mais descentralizadas e assertivas. No entanto, a baixa aplicação pode estar relacionada a características inerentes ao ramo de negócios do caso estudado (transformação de aço/ peças equipamentos mecânicos pesados). Desta forma a análise da dispersão das respostas através do *boxplot* permite observar que o instrumento desenvolvido foi capaz de capturar diferentes percepções, dado um mesmo questionamento no mesmo caso.

4.2.4 Análise para o critério de importância aplicado ao Caso 2

Foram analisados neste tópico os resultados representados na figura 10.

Figura 10: *Boxplot* por proposição para nível de importância – Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor

A exemplo da análise realizada anteriormente para nível de evolução, tem-se nos tópicos abaixo uma análise para algumas questões selecionadas como representativas quanto a importância da utilização da proposição na unidade de negócio. Foram analisadas aqui questões com baixa e alta dispersão além de questões com distribuição mais homogênea. Importante

considerar também que no caso 2 a quantidade de respostas é ímpar, cinco participantes, sendo assim os valores de mediana serão valores inteiros que representam o centro da distribuição, conforme conceito desta medida de posição.

Questão 2: proporciona uma experiência digital aos clientes no processo de venda e acompanhamento do processamento de produtos. Nesta questão observa-se uma mediana (3) e a dispersão total representada pelos traços entre os valores (2) e (5). Esse resultado indica uma dispersão alta entre os avaliadores quanta a importância, pois metade das avaliações são menores ou igual a três. Assim, a importância da proposta não está como muito relevante ao negócio, com uma avaliação um pouco descolada da mediana, provavelmente dado a característica B2B do caso avaliado, conforme já citado anteriormente. A estrutura de operação e fornecimento direto a montadora com característica de produção seriada não indica requerer meios que proporcionem maior interação ou experiência aos clientes, na visão dos participantes, uma vez que todo este tipo de demanda é operado de forma “departamental” sem interface com o cliente final.

Questão 15: existem tecnologias de realidade aumentada empregada nos processos com interface humana. Esta questão também é uma das questões que apresentaram dispersão com relação ao critério de importância. Esta proposição teve mediana com valor (3) com AIQ (2) além dos traços se estendendo até (2) no sentido inferior e até (5) na dispersão superior. Esses números indicam que o valor central da distribuição dos 5 avaliadores foi (3), porém variando de (2) a (5). Assim no caso 2 os resultados sugerem que há diferentes percepções quanto ao ganho ou benefícios da utilização de realidade aumentada na operação. Importante considerar que de fato a operação de manufatura em questão, dado as suas características de transformação de aço, tamanho e peso das peças pode ser algo que de fato não agregue valor, porém nas rotinas das áreas de suporte como ferramentaria e manutenção pode ser aplicada com ganhos em assertividade, mão de obra, tempo na resolução de problemas entre outros. Um ponto importante de se descartar é que com relação ao nível de evolução desta mesma proposição no caso, ela foi avaliada sem dispersão tendo comportamento diferente comparando-se com a avaliação quanto ao critério de importância. Assim a menor variabilidade quanto ao nível de evolução se deve ao fato de que a utilização de realidade aumentada ainda não é fato, e as iniciativas e projetos de aplicação estão na sua fase de concepção, por isso maior consenso quanto a este critério.

Questão 8: monitoramento da capacidade dos processos de fabricação em tempo real de toda a operação. Esta proposição a exemplo das proposições 11 e 19, não teve dispersão entre os avaliadores, assim todos concordam com o nível de (5) para utilização de técnicas ou

ferramentas para monitorar capacidade de processo, como representado pelo gráfico. Este resultado é compreensível ou até mesmo esperado dado o tema capacidade de processo é recorrente de longa data dentro meio automotivo e indústria manufatura, onde, quando sob controle e com desdobramento correto do conceito essa ferramenta pode trazer ganhos de produtividade e eficiência nos processos, reduzindo custos, além de permitir decisões mais descentralizadas e rápidas. Isso reflete na importância elevada atribuída a esta proposição que integra a dimensão 3.

Questão 19: existe uma cultura organizacional que estimule o desenvolvimento e engajamento dos colaboradores para implementação de uma jornada da qualidade 4.0.

Nesta proposição também se observa que não houve dispersão entre os resultados, uma vez que todos os componentes do *boxplot* são coincidentes em um mesmo ponto (mediana, quartis e traços). Assim tem-se mais uma proposição onde todos os participantes concordam entre si com o grau de importância (5), extremamente importante, em relação a existência de uma cultura organizacional que estimula e direciona os colaboradores no desenvolvimento da qualidade dentro da I4.0. Importante considerar que não é foco deste trabalho avaliar a cultura de uma organização, porém é importante salientar que no caso 2, estes resultados representam a opinião de altos executivos incluindo o nível hierárquico mais alto da estrutura organizacional (*CEO*). Essa aderência remete a uma relação que o fator cultura tem com o sucesso na evolução e implementação da Q4.0 nas organizações.

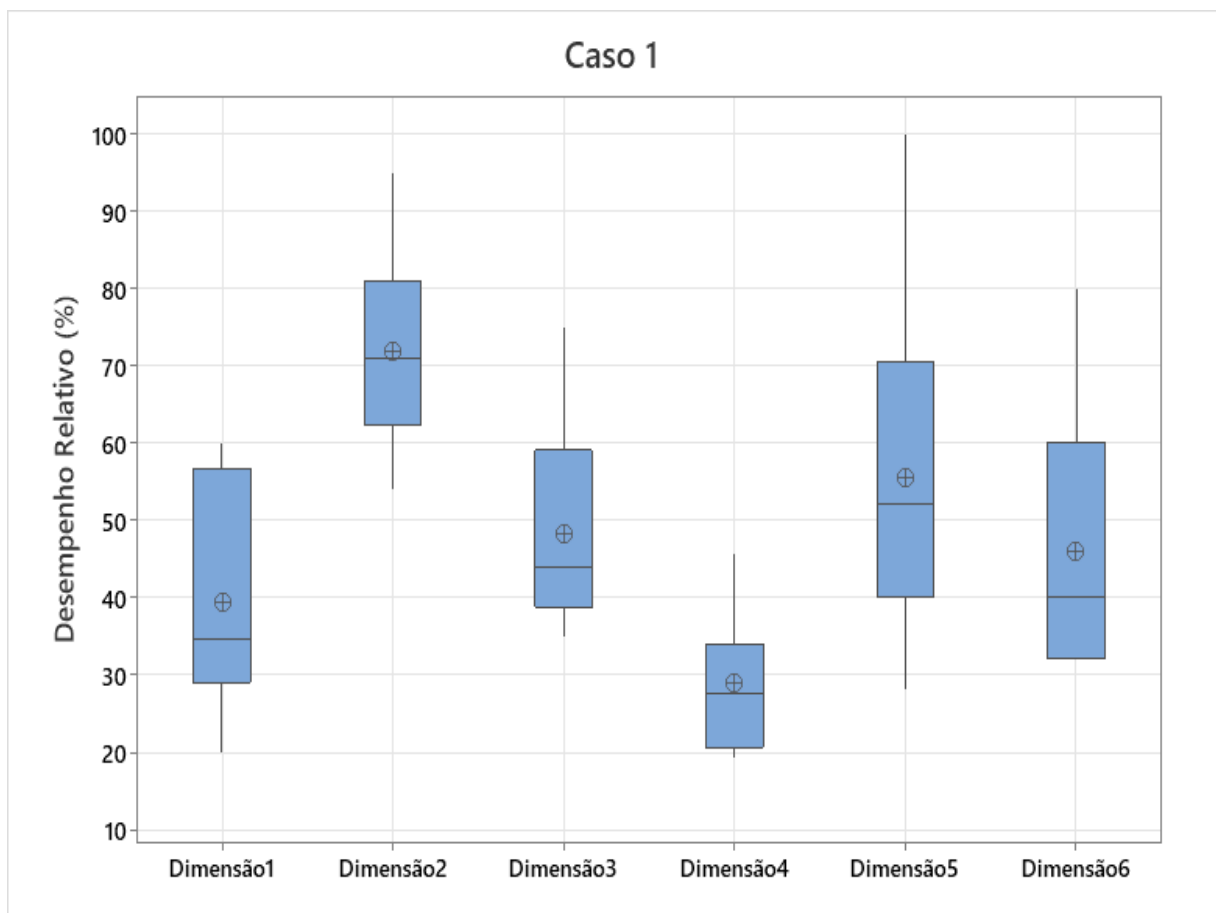
Questão 5: durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas de simulações (CAE). A análise do grau importância desta proposição traz uma perspectiva interessante pois na análise do *boxplot* desta mesma quanto ao nível de evolução sugeriu uma concordância entre os participantes além de um resultado alto para a aplicação. Aqui, quanto a importância tem-se um cenário com baixa dispersão onde mais da metade das avaliações foram com o critério máximo de importância (5), uma vez que a mediana apresenta esse valor. Isso reflete uma aderência entre as avaliações e sugere que o entendimento da proposição pode estar mais consolidado, dado o domínio da aplicação das ferramentas pela organização e assertividade da fase de desenvolvimento de produto atrelado aos já resultados realizados ao longo do tempo pela organização.

4.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS DIMENSÕES ATRAVÉS DO BOXPLOT

Neste tópico, tem-se uma análise específica para as 6 dimensões consolidadas nos dois casos estudados e como estas dimensões se comportam quanto a distribuição e posição. O

boxplot das dimensões representa o desempenho das seis dimensões entre os avaliadores, sendo interessante na interpretação ou percepções sobre o comportamento de cada uma delas. Assim é importante considerar que nesta análise o objetivo é avaliar também a dispersão das avaliações de cada participante para cada dimensão e não somente o valor médio, sendo os valores apresentados uma referência comparativa entre as dimensões. Em uma análise geral, nota-se que a dimensão 2, dimensão 5 e a dimensão 6, são as que apresentam os maiores desempenhos, no caso 1, conforme figura 11.

Figura 11: *Boxplot* por dimensão – Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Dimensão 1, observou-se um posicionamento próximo ao valor de 35%, com avaliações apresentando uma dispersão, a terceira maior, variando de 20 a 60. Esse resultado indica que a dimensão não obteve altas avaliações em relação à sua aplicação na relação com os clientes, sendo a questão 2 analisada previamente, com maior impacto no baixo resultado. A exemplo do que foi visto no tópico anterior sobre a importância das questões, pode-se também

supor pelos resultados que existe uma percepção mais conservadora do que de fato esta dimensão contribui para a maturidade da qualidade 4.0.

Para Dimensão 2, constatou-se que a empresa apresentou um dos maiores valores, com média e mediana praticamente coincidentes e uma ligeira dispersão entre os valores máximos e mínimos. Isso indica uma dimensão com maior maturidade e consolidação da utilização de ferramentas de design, simulação e softwares de CAD, CAE, visando garantir o desenvolvimento de produtos conforme os pilares da Indústria 4.0 aplicados a qualidade. Este comportamento pode ser resultante da utilização sistêmica ao longo do tempo destas ferramentas no desenvolvimento de produtos, o que provavelmente fortaleceu o entendimento e domínio da dimensão na organização.

A Dimensão 3 abordou a gestão da capacidade de processo, e os resultados indicam um nível médio de desempenho, com o valor central próximo a 51. O resultado sugere que a compreensão dos avaliadores em relação a essa dimensão está relativamente em concordância, com leve dispersão e quando se compara com as demais dimensões. A abordagem a gestão da capacidade de processos é um tema recorrente nas indústrias do segmento, porém ao que sugere o gráfico, ainda não se domina totalmente as práticas de gestão de processo dentro do contexto da I4.0. O conceito de gestão da capacidade de processo é longínquo e bem difundido no segmento de atuação da organização em questão, onde pode-se assumir que há uma visão consoante de sua importância o que sugere que o resultado encontrado para dimensão é devido a utilização pontual de controles nos processos mais críticos, especialmente.

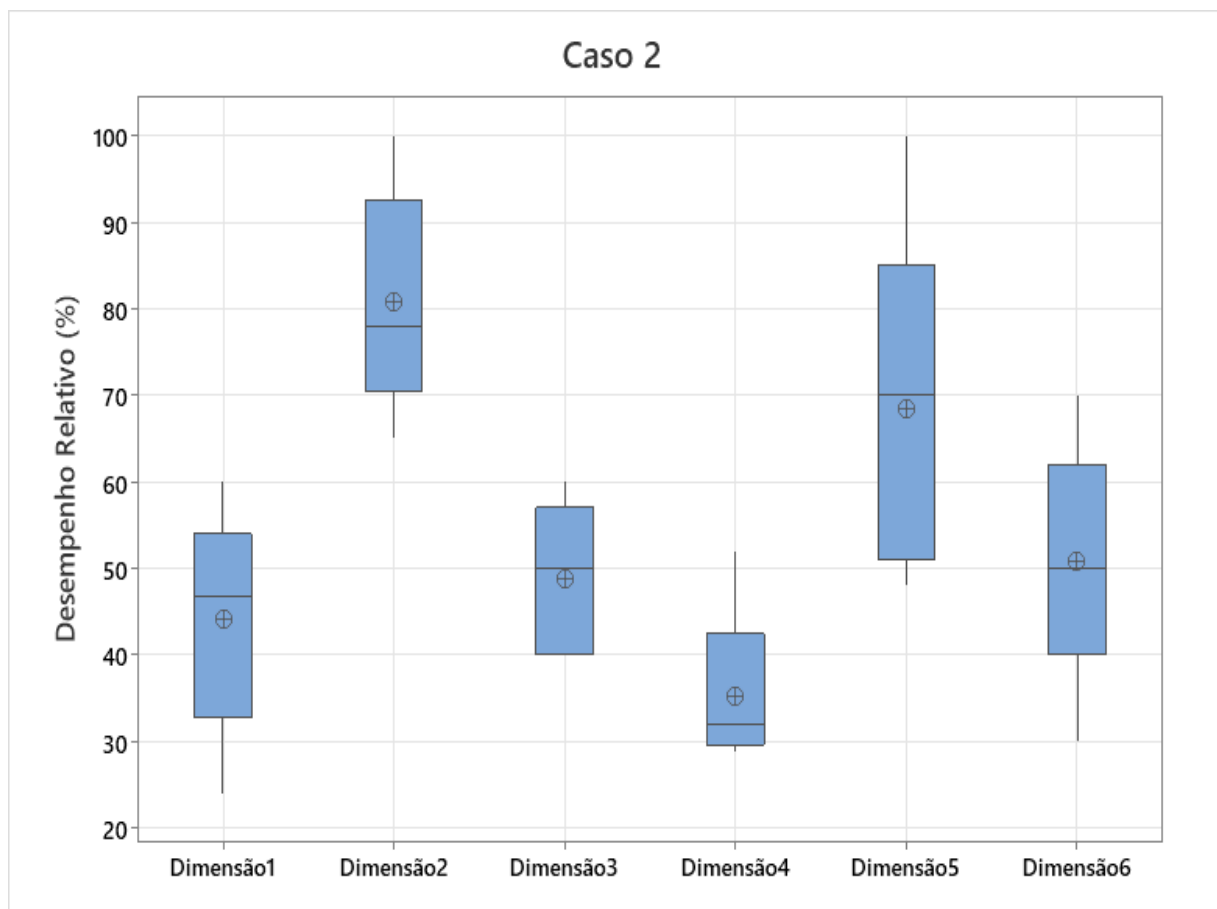
Na Dimensão 4, que trata da gestão e integração dos sistemas, foi observado o resultado mais baixo entre todas as dimensões estudadas, com uma dispersão também reduzida entre os avaliadores. Isso pode indicar que a dimensão está em uma fase preliminar de aplicação ou utilização dentro da organização. É possível que seja necessário primeiro ter a gestão dos processos, dimensão 3, implementada e operando amplamente para evoluir efetivamente nesta dimensão 4. É de conhecimento dos avaliadores que esta pode ser a que mais requererá investimentos e recursos, não só financeiro para que se possa evoluir. No entanto o potencial de ganhos é relativamente alto e de forma geral a organização entende este potencial que a análise em tempo real dos dados de processos e diversos sistemas existentes, para que estes dados se transformem em informação, de forma integrada tem na otimização da operação através da redução de desperdícios e prevenção de falhas, como principais exemplos de ganho.

As Dimensões 5 e 6 estão relacionadas ao envolvimento da liderança e cultura da organização, respectivamente, e seus resultados podem estar atrelados. A Dimensão 5 apresentou valores próximos a 50, mas com uma certa dispersão, indicando uma possível

questão na comunicação da estratégia geral da organização ou até mesmo diferentes conceitos entre os avaliadores, uma vez que esta dimensão é mais subjetiva. Por sua vez, a dimensão 6 pode estar condicionada ao nível de desenvolvimento da dimensão 5, proporcionado pela alta liderança, ou seja, através de um plano de investimento e desenvolvimento sólido o qual é abordado na dimensão 5, além de iniciativas de divulgação da estratégia e benefícios do tema, os quais podem influenciar até mesmo na qualidade de vida dos colaboradores e não somente na qualidade dos produtos, contribuindo assim com a inserção de uma cultura digital. Além disso, a existência de uma política clara de comunicação sobre o papel e funções dos colaboradores no processo de evolução da Indústria 4.0 pode impactar positivamente o engajamento e o fortalecimento dessa cultura, resultando em um maior envolvimento, atuação e proximidade dos colaboradores na jornada de implementação.

Ainda com relação a análise da dispersão das dimensões a figura 12 representa o comportamento das seis dimensões para o caso 2.

Figura 12: *Boxplot* por dimensão – Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Dimensão 1, observou-se um posicionamento próximo ao valor central de 50, com avaliações apresentando uma dispersão no desempenho entre 25 a 60. Esse resultado indica que o caso 2 não obteve alto desempenho em relação à sua aplicação de técnicas ou ferramentas da Q4.0 na relação com os clientes. A exemplo do que foi visto anteriormente sobre a importância das questões, pode-se também supor dos resultados que existe uma percepção mais conservadora sobre o que de fato esta dimensão contribui ou agrega na maturidade da qualidade 4.0 na organização.

Para a Dimensão 2, constatou-se que a organização apresentou o maior valor de desempenho em relação as demais, com mediana de localizada em 78% e com dispersão dos dados chegando até o desempenho máximo (100%). Isso indica uma dimensão com maior maturidade e consolidação da utilização de ferramentas de design, simulação e softwares de CAD, CAE, e manufatura aditiva permitindo o desenvolvimento de produtos ocorra conforme sugere os pilares da Indústria 4.0 aplicados a qualidade. Este comportamento pode ser devido a utilização ampla e sistêmica ao longo do tempo destas ferramentas no desenvolvimento de produtos o que provavelmente fortaleceu o entendimento e domínio da dimensão na organização.

A Dimensão 3 abordou a gestão da capacidade de processo, e os resultados indicam um nível médio de desempenho, com o valor central, mediana, de 50%. O resultado sugere que a compreensão dos avaliadores em relação a essa dimensão está relativamente em concordância, com a menor dispersão entre as dimensões. A questão da gestão da capacidade de processos é um tema recorrente nas indústrias do segmento, porém ao que sugere o gráfico, ainda não se domina totalmente as práticas de gestão de processo dentro do contexto da I4.0. O conceito de gestão da capacidade de processo é longínquo e bem difundido no segmento de atuação da organização em questão, com conhecida importância, o que sugere neste caso que o resultado em níveis médios encontrados para a dimensão pode ser devido há aplicações ainda pontuais de controle nos processos mais críticos.

Na Dimensão 4, que trata da gestão e integração dos sistemas, foi observado o resultado mais baixo entre todas as dimensões estudadas, com uma dispersão também reduzida entre os avaliadores. Isso pode indicar que a dimensão está em uma fase preliminar de aplicação ou utilização dentro da organização. É possível que seja necessário primeiro ter a gestão dos processos, dimensão 3, implementados e operando amplamente para evoluir efetivamente nesta dimensão. É de conhecimento dos avaliadores que esta dimensão pode ser uma das que mais requer investimentos e recursos, não só financeiros para que se possa evoluir. No geral a organização também entende que a análise em tempo real dos dados de processo, para que estes

se transformem em informação disponível de forma integrada, tem impacto na otimização da operação, seja através da redução de desperdícios ou prevenção de falhas, como principais exemplos de ganhos e benefícios.

As Dimensões 5 e 6 estão relacionadas ao envolvimento da liderança e cultura da organização, respectivamente, e seus resultados podem estar atrelados. A Dimensão 5 apresentou uma dispersão considerável, com metade dos valores entre 51 e 85%, sendo que a variação total ficou entre 48 e 100%. Dado que essa dimensão tem aspecto mais subjetivo, faz-se fundamental abordar essa dimensão para uma compreensão mais assertiva dos resultados e suas influências. Por sua vez, a performance da dimensão 6 pode estar condicionada ao nível de desenvolvimento da dimensão 5, proporcionado pelo envolvimento da liderança, através de um plano de investimento e desenvolvimento sólido, além de iniciativas de divulgação da estratégia e benefícios do tema, contribuindo com a inserção de uma cultura digital para a qualidade. Além disso, a existência de uma política clara de comunicação sobre o papel e funções dos colaboradores no processo de evolução da Indústria 4.0 pode impactar positivamente o engajamento e o fortalecimento dessa cultura.

Em geral, os resultados parecem coerentes em ambos os casos e a evolução observada em algumas dimensões pode influenciar o desempenho das dimensões subsequentes. Contudo, é importante destacar que esta análise não abordou testes de hipóteses estatísticas para avaliar a significância dos resultados, o que pode ser objeto de estudos futuros. A dissertação contribui significativamente ao destacar as áreas que requerem maior atenção e direcionamento estratégico para promover a adoção bem-sucedida da Qualidade 4.0 nas organizações em estudo.

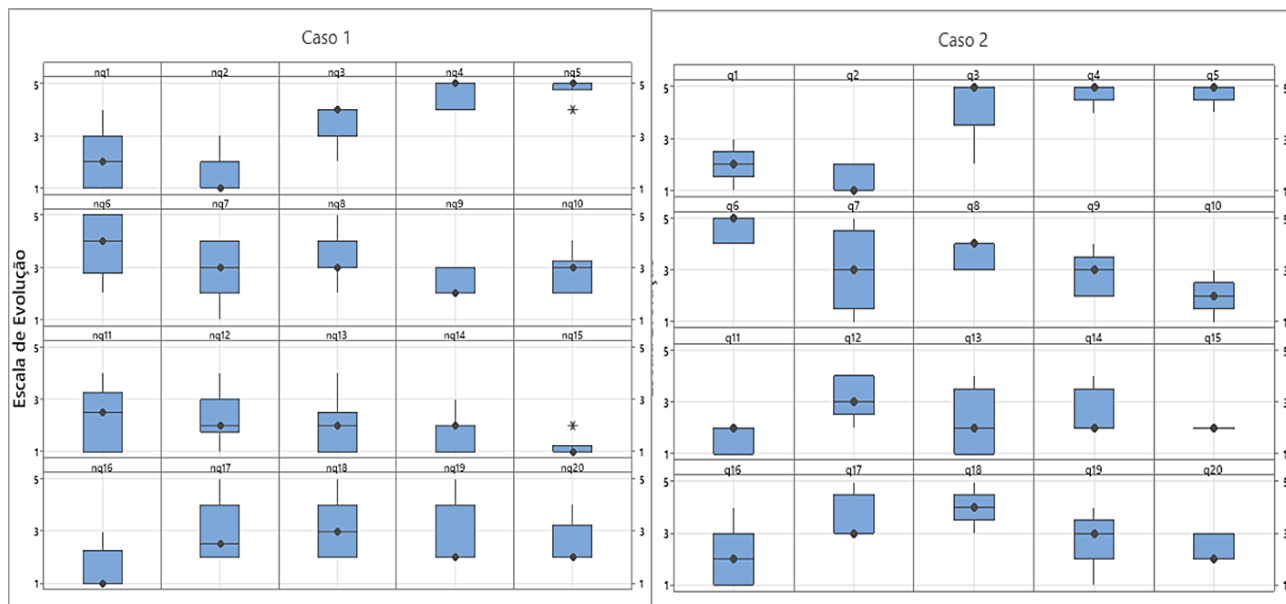
4.4 ANÁLISE INTRACASOS

Nos tópicos subsequentes tem-se os principais pontos observados entre os casos quanto ao quesito questões e dimensões. Importante ressaltar que a análise visa apenas destacar comportamentos tanto semelhantes como distintos entre os casos, e não tem a finalidade de classificar os casos como melhor ou pior em termos de desempenho. Vale ressaltar que as análises apresentadas não foram submetidas a testes de hipóteses estatísticas, por não atender algumas premissas para aplicação destes testes, o que pode ser objeto de estudos futuros.

4.4.1 Análise intracaso para as questões

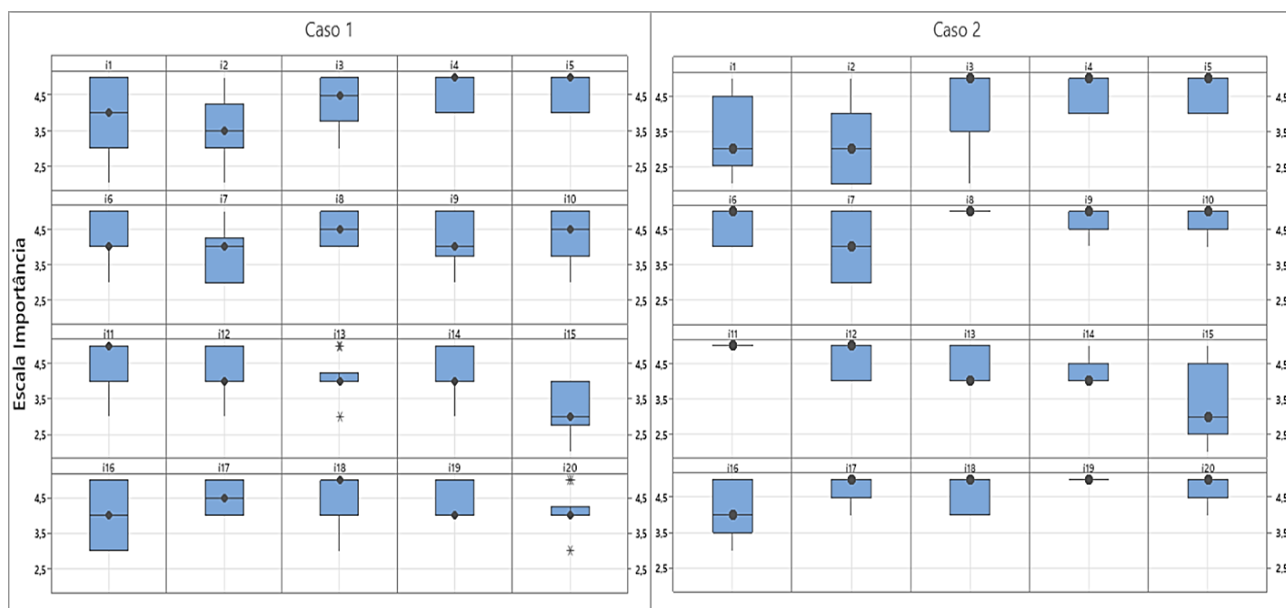
As figuras 13 e 14 mostram os resultados que foram utilizados na comparação entre os dois casos estudados.

Figura 13: Casos pareados – Critério evolução



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14: Casos pareados – Critério importância



Fonte: Elaborado pelo autor

Questão 3: Nesta questão observa-se que houve uma maior dispersão no caso 2 em relação ao caso 1, no entanto no caso 2 o resultado sugere uma maior, porém discreta, evolução em relação ao caso 1. Isso pode refletir uma diferença no entendimento do que é e qual o nível é explorado para o sistema dedicado para atender as demandas do cliente através das áreas de

planejamento e controle da produção. Notar que no caso 1 há maior aderência entre as fases de implementação e consolidação e já no caso 2 houve alguma indicação para a fase de aperfeiçoamento. Para o critério de importância ambos os casos apresentaram resultados muito semelhantes onde pode-se presumir que a importância é bem compreendida e apresenta congruência nas avaliações.

Questões 4 e 5: ambas apresentam uma distribuição bem parecida tanto na posição quanto na dispersão dos resultados, o que as caracteriza como previamente analisado nas questões individuais, como a mais evoluída dentre as proposições. Ainda para importância mesmo cenário foi identificado em ambos os casos, sugerindo que nível destas práticas em ambas as organizações é semelhante e estas dominam e aplicam as tecnologias avaliadas. Mesmo com diferenças nas características dos produtos manufaturados pelas organizações e estrutura organizacional independente, é notável que existe uma similaridade na interpretação da importância e no nível de aplicação.

Questão 7: para esta proposição observa-se que o centro da distribuição tem o mesmo valor em ambos os casos, ou seja, mediana (3), porém observa-se uma maior variação nas respostas no caso 2 em relação ao caso 1, mesmo com o fato do caso 2 ter menos respostas, condição que a princípio poderia levar há uma menor dispersão entre as avaliações. Convém citar o fato de que existem aplicações pontuais do uso da proposição, mas não como um processo consolidado ou sistêmico, o que indica uma possível divergência na interpretação ou conceito do uso da manufatura aditiva como rotina de determinados processos, ou a comunicação quanto a aplicação de técnicas de manufatura aditiva, pode ser aprimorada no sentido de ter uma abordagem mais holística. Para a questão da importância, no caso 2, há uma concentração ligeiramente maior de avaliações próximas ao critério máximo em relação ao caso 1, o que pode impactar no *gap* da proposição ou dimensão. De fato, a complexidade para se obter peças ou ferramentas protótipos no caso 2, dado as características dimensionais relativamente maiores, parece ser um fator que impacta a percepção de importância desta prática para o negócio.

Questão 9: para essa proposição temos um cenário mais aderente no caso 1 em relação ao caso 2, pois no caso 1 nota-se variação entre os níveis (2) e (3) e já no caso 2 com uma avaliação nível (4). A utilização de sistemas automáticos com tomada de decisão e interconectados é intrínseca de sistemas mais evoluídos ou maduros com toda a infraestrutura básica já implementada, tais como sensorização, coleta e armazenamento de dados. Assim, ambos os casos apresentaram resultados similares, o que pode ser justificado pela grande semelhança do parque fabril dos casos estudados, exceto pela única avaliação descolada do

centro, como citado no caso 2. Exposto isso, o caso 1 teve maior aderência no nível de aplicação do que para os avaliadores do caso 2. Ainda com relação aos resultados do caso 2, a questão foi considerada como um nível acima de importância em relação ao caso 1, mostrando que mesmo com semelhanças no parque fabril já há um indicativo de uma visão ou estratégia diferente entre as unidades para este quesito dentro da Q4.0. Não é alvo desta dissertação detalhar as causas do resultado, no entanto, pode-se de maneira genérica supor que há espaço para explorar o conceito, benefícios e desafios do uso de sistemas que auxiliem na análise de falha preventiva dentro da indústria e equalizar as avaliações.

Questão 15: em uma avaliação dos casos nota-se que a aderência das respostas é alta e que no caso 2 especialmente não há discordância quanto ao nível de evolução (2), o que reflete um movimento inicial para utilização e desenvolvimento de atividades com suporte de realidade aumentada. Já para o caso 1 há também aderência entre as respostas, porém no nível (1), onde não há aplicação da tecnologia. A análise desta proposição traz uma perspectiva bem interessante, pois reflete uma coerência em ambos os casos com nível, de inicial em ambos. Este resultado sugere que pode existir uma diferença na forma de comunicar as iniciativas ou projetos, ou de fato, as organizações têm contornos diferentes na abordagem, evolução e priorização do tema realidade aumentada dentro de seus processos. Importante ressaltar que ambos os casos operam processos de transformação de aço e maquinários pesados o que de maneira geral pode ser um ambiente desfavorável ao uso de equipamentos mais sensíveis ou que requerem maior controle de temperatura, iluminação e sujeidade, além claro, de conexão de rede abrangente e estável. Importante considerar que os avaliadores em geral têm a predição de que o maior potencial de desenvolvimento está nas atividades de apoio à operação.

Questão 17: as avaliações demonstraram um estágio elevado de implementação das práticas de qualidade 4.0, sendo observado um valor extremo de (5), fase de aperfeiçoamento, sugerindo um envolvimento expressivo da liderança nesse desenvolvimento. Além disso, foi constatado que a maioria dos avaliadores classificou o tema com o critério máximo de importância, o que indica o reconhecimento da relevância estratégica da qualidade 4.0 para a indústria. A análise comparativa entre os casos estudados indicou uma distribuição similar nos resultados, reforçando a inclinação favorável da liderança para a evolução das práticas da qualidade 4.0 em ambas as situações investigadas. Essa consistência sugere que a liderança de ambos os casos está engajada e participativa no processo, sendo isto um fator-chave para estimular a visão estratégica necessária para a evolução dentro da organização. O grau de envolvimento e a visão estratégica da liderança desempenham um papel fundamental para o sucesso da adoção dessas práticas, impulsionando a evolução da indústria em direção a um

contexto cada vez mais tecnológico e orientado pela excelência em qualidade, características requeridas por um mercado automotivo cada vez mais competitivo, exigente e em constante evolução.

Questão 19: nesta questão, que aborda cultura das organizações nota-se um comportamento semelhante com uma discreta diferença na distribuição dos valores e na posição do valor central entre os dois casos. Vale destacar o caso 1, cuja dispersão está deslocada um nível acima em relação ao caso 2, porém com uma mediana menor. Esses resultados indicam um potencial de fortalecimento do conceito de cultura organizacional focada na qualidade 4.0.

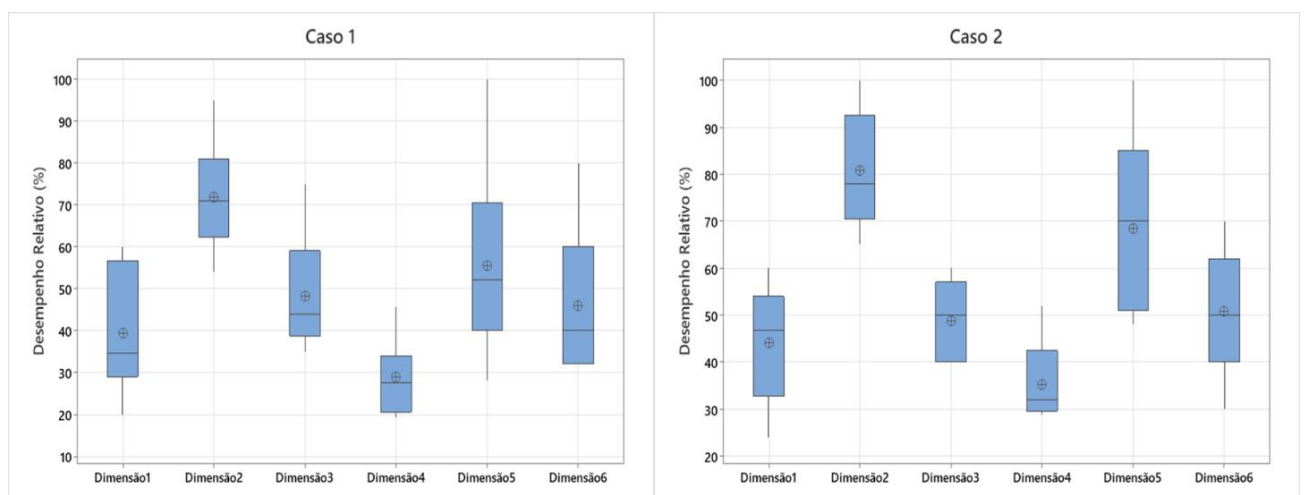
Ambos os casos revelam resultados expressivamente altos no critério de importância da cultura organizacional, a exemplo do caso 2 onde 100% dos avaliadores atribuíram o critério máximo, indicando uma maior coesão quanto à importância dessa cultura no desenvolvimento do tema. Já no caso 1, observou-se uma pequena dispersão em direção ao critério nota 4, sugerindo uma possível necessidade de avaliar ou entender a estratégia de comunicação ou envolvimento das pessoas no fortalecimento da cultura digital. No entanto, pode-se dizer que ambos os casos têm conhecimento do quão forte e positivo é o impacto da cultura organizacional neste processo.

Cabe ressaltar que, em ambos os casos, os avaliadores ocupam cargos de alta liderança, o que reforça o consenso dos valores atribuídos à importância da cultura organizacional para estimular uma cultura digital.

4.4.2 Análise intracaso para as dimensões

Para suportar a análise intracaso das dimensões tem-se a figura 15.

Figura 15: Casos pareados – Dimensões



Fonte: Elaborado pelo autor

Dimensão 1: o desempenho foi similar em ambos os casos especialmente na dispersão, com ligeira superioridade no caso 2, tanto na dispersão como para a mediana

Dimensão 2: o caso 2 atingiu o máximo desempenho dentre suas avaliações, mas com distribuição e valor central ligeiramente maior, porém parecidos com o caso 1, assim tem-se a dimensão com maior desempenho em ambos os casos.

Dimensão 3: no caso 2 a dispersão foi menor e valor central ligeiramente superior, o que indica que houve maior aderência nas respostas para o caso 2, porém a região que compreende 50% das avaliações (AIQ) em ambas contempla os valores entre 40 e 60, indicando desempenho mediano para maioria dos avaliadores dos dois casos. Sendo assim pode-se presumir que apesar de algumas questões que compõem a dimensão 3 apresentaram avaliações diferentes como visto nos parágrafos anteriores, porém a dimensão de gestão da capacidade processos por inteiro apresentou comportamento similar tanto na análise intracaso como no seu posicionamento frente as demais dimensões do caso. Pode-se também reforçar que, mesmo dado as similaridades que geraram este resultado, o instrumento aplicado foi capaz de detectar diferentes percepções entre as avaliações que são uteis na interpretação de qual área pode não estar clara para a organização quanto a sua necessidade de desenvolvimento devido justamente a esta diferente percepção representada pela dispersão geral da dimensão.

Dimensão 4: tem-se mais uma dimensão que o valor geral indica uma performance menor sob a ótica dos avaliadores do caso 1. Houve também uma dispersão dos dados similar, porém, com deslocamento ligeiramente superior para o caso 2. Mesma com essa pequena diferença a questão abordada pela dimensão 4 aparenta ser uma das mais desafiadoras de se evoluir, dado sua posição de menor desempenho entre as seis dimensões em ambos os casos. Convém ressaltar que os resultados são referências para guiar um plano de desenvolvimento e seus valores são relativos.

Dimensão 5: nesta dimensão tem-se um cenário onde o caso 1 representa uma visão mais conservadora quanto ao desempenho da mesma, pois a medida de posição do valor central, mediana, é menor que no caso 2. Além disso, ainda no caso 1 houve maior dispersão, no sentido inferior. Em ambos os casos houve avaliações com desempenho máximo para a dimensão, mas no caso 1 pode-se dizer há um conservadorismo um pouco maior na avaliação deste tema.

Dimensão 6: na última das dimensões avaliadas, observa-se para o caso 1 que metade das avaliações estão compreendidas entre um desempenho de 32 a 40%, sendo 40 o valor central da distribuição. Comparando-se com o caso 2 temos um resultado com performance menor e dispersão entre os avaliadores maior, o que gera aparência do *boxplot* ligeiramente deslocada, porém não será aplicado ferramentas estatísticas para testar a diferença entre os resultados.

Assim o resultado sugere de maneira geral e somente descritiva que a cultura organizacional focada na Q4.0 nos casos avaliados é similar o que representa um alinhamento de estratégia do grupo, pois mesmo com estrutura de operações distintas, são parte de um mesmo grupo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, após os resultados encontrados nas análises realizadas, pode-se considerar que o instrumento de avaliação proposto permite avaliar a maturidade das práticas de gestão da qualidade na organização na era da indústria 4.0, conforme o objetivo principal desta dissertação. É salutar considerar que a avaliação de maturidade é uma ferramenta valiosa para ajudar as organizações a entenderem onde estão em sua jornada de desenvolvimento e identificar áreas que precisam de melhorias, lacunas, ou áreas que não requerem mais recursos e projetos. A partir deste mapeamento o instrumento permite que as organizações definam estratégias para alcançar níveis mais altos de maturidade. Além disso, a avaliação de maturidade é um processo contínuo que pode ser usado para monitorar e medir o progresso do tema em questão ao longo do tempo (longitudinal). É importante ressaltar também que a implementação bem-sucedida de um modelo de maturidade requer comprometimento, liderança e uma cultura organizacional orientada para a melhoria contínua, conforme abordado por esta dissertação. Neste contexto, a dissertação através da estrutura do instrumento e protocolo utilizado, colabora ao destacar as áreas que requerem maior atenção e direcionamento estratégico para promover a adoção bem-sucedida da Qualidade 4.0 atrelada a gestão da qualidade do produto.

Destaca-se também o impacto positivo que o engajamento e interesse dos participantes selecionados desde a abordagem inicial com a apresentação do tema e durante o desenvolvimento da aplicação questionário, onde foi possível contato com profissionais de alta liderança, tais como CEO, Diretor Mundial de Engenharia Avançada e Diretores Regionais de Engenharia e Qualidade, entre outros, evidenciando a relevância da pesquisa. Durante o processo de coleta de dados a ação ocorreu de forma fluida e enriquecedora o que propiciou uma significativa troca de experiências e compreensão clara dos tópicos abordados pelo instrumento. Deste modo, reforça-se que o envolvimento ativo dos participantes traz impactos positivos no êxito da pesquisa e eleva a qualidade dos resultados obtidos.

A síntese do desempenho da organização através das dimensões propostas, iniciando-se com a Dimensão 1, relacionada a atendimento ao cliente, encontrou resultados iniciais de maturidade, com exceção da questão que avalia a utilização de um sistema integrado dedicado a gerenciar as demandas do cliente, onde houve aderência quanto ao maior nível avaliado. Assim ainda pode existir uma lacuna a ser desenvolvida para melhorar o nível de maturidade desta dimensão, em função da importância que se atribui ao tema, como o desenvolvimento e utilização de ferramentas digitais para monitorar satisfação do cliente.

Para a Dimensão 2 que se refere a desenvolvimento de produto, todas as 4 questões apresentaram níveis altos de aplicação, representando uma dimensão consolidada e aderente entre os avaliadores, porém com oportunidades específicas como por exemplo, na análise do uso de ferramentas de simulação e modelagem dos processos, bem como a questão 7 que avaliou o uso de técnicas de manufatura aditiva na fase de confecção de protótipos como estágio de implementação.

Com relação a gestão da capacidade de processos, que é avaliada pela dimensão 3, nota-se uma concordância no estágio que se encontra essa dimensão, uma vez que a maioria dos resultados para as quatro questões indicaram um cenário inicial de implementação, com alguns processos pontuais mais desenvolvidos. Dado que está é uma dimensão diretamente ligada a operação da organização, onde, infere-se que existem as maiores oportunidades de ganhos e melhoria de eficiência operacional, através da aplicação de ferramentas e tecnologias que permitem tomada decisão em tempo real com base nos dados do processo, bem como sistemas interconectados e capazes, inclusive, de analisar a causa da falha a partir de dados coletados, reduzindo perdas e impactando positivamente na gestão da qualidade do produto, o que representa o potencial desta dimensão quando bem desenvolvida. Seguindo conceito similar, a dimensão 4 buscou avaliar a integração e gestão dos sistemas interconectados. Nesta dimensão, que de maneira geral é complementar ou subsequente à dimensão 3, e dado que esta revelou oportunidades para evolução, a dimensão 4 também apresentou resultados aderentes para níveis iniciais de aplicação das práticas de integração dos diversos processos suportando uma tomada decisão holística. Tem-se como exemplo dos principais sistemas avaliados nesta dimensão a aplicação de sistemas de visão integrados e tecnologias de realidade aumentada para os processos com interface humana, além do uso de modelos inteligência artificial integrado aos principais postos de controle da qualidade.

Na análise da dispersão dentro das dimensões, destacaram-se as dimensões 5 e 6 que avaliam pilares relacionados a pessoas, como envolvimento da liderança e cultura e engajamento dos colaboradores, respectivamente. Na dimensão 5 pode-se classificar que há entendimento entre os participantes, para os critérios que compõem esta dimensão, que a organização está na fase de desenvolvimento e fortalecimento de uma cultura digital focada na Q4.0, fomentada pela liderança através de uma visão estratégica para estas práticas e planos de desenvolvimento e investimentos consistentes. Fechando este ciclo, tem-se a dimensão 6 relacionada a cultura e engajamento dos colaboradores, reforçando que não foi foco desta dissertação avaliar a cultura organizacional da empresa. Esta dimensão, identificou que existe diferença de percepção entre uma parte dos avaliadores quanto ao nível atual de evolução da

cultura dentro da organização que estimule o desenvolvimento dos colaboradores, e consequente engajamento, para a jornada de implementação da Q4.0. Com relação ao nível de conhecimento e principalmente aceitação dos colaboradores na utilização das principais ferramentas para esta implementação, a maioria dos avaliadores concorda que há oportunidade de desenvolvimento, e que a organização está em processo de evolução, resultados que podem ser compreensíveis dado a contemporaneidade do tema.

Finalmente tem-se como potenciais trabalhos futuros, a avaliação de maturidade da Q4.0 ao longo do tempo, ou seja, longitudinalmente nos casos alvos, consolidando seu uso como uma ferramenta de melhoria contínua e monitoramento de desempenho, o que contribui com a competitividade da empresa em um mercado em constante evolução. Outro estudo interessante refere-se a expandir a aplicação do instrumento ao longo da cadeia de fornecimento do setor automobilístico, desde fornecedores de base (*tier 2*), até a própria montadora de veículos. Tal abordagem proporcionaria uma visão abrangente e integrada da maturidade da Qualidade 4.0 em todo o sistema produtivo, permitindo uma compreensão mais completa das dinâmicas e interações ao longo da cadeia de valor. A exploração dessas direções de pesquisa tem o potencial de enriquecer consideravelmente o conhecimento e as aplicações práticas no campo da Indústria 4.0, ao mesmo tempo que pode oferecer *insights* interessantes para aprimorar as estratégias empresariais.

REFERÊNCIAS

- ANTONY, J. *et al.* An exploration of organizational readiness factors for quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. **International journal of quality and reliability management**, [s.l.], p 1 – 25, 2021. DOI:10.1108/IJQRM-10-2021-0357. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/357510099_An_exploration_of_organizational_readiness_factors_for_Quality_40_an_intercontinental_study_and_future_research_directions. Acesso em: 10 jun. 2022.
- ASDECKER, B.; FELCH, V. Development of an industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. **Journal of modelling in management**, Germany, v. 13, n. 4, p. 840-883, mar./jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2018-0042>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JM2-03-2018-0042/full/html>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- BROZZI, R. *et al.* Design of self-assessment tools to measure industry 4.0 readiness: a methodological approach for craftsmanship SMEs. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT, 15, 2018, Turin. **Proceedings [...]** Turin: Springer, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Avaliação de tecnologias adotadas. Brasília: CNI, 2016.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 216-229, Jan./Abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000100015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/zhVnv4mW8pvWc3hTxvfXt4L/>. Acesso em: 16 jan 2022.
- MORAIS, M. O. A evolução da qualidade na indústria 4.0. **Research, society and development**, v. 9, n. 10, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8634/7728>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- MTOTYWA, M.M. Developing a quality 4.0 maturity index for improved business operational efficiency and performance. **Quality innovation prosperity** 26/2-2022. DOI:10.12776/QIP.V2612.1718. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362401752_Developing_a_Quality_40_Maturity_Index_for_Improved_Business_Operational_Efficiency_and_Performance. Acesso em: 09 set 2022.
- ORTIZ, H. J. *et al.* **Industry 4.0 current status and future trends**. 2020. Disponível em: https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/43836/external_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 jun. 2023.
- OLIVEIRA, V. F.; CAVENAGHI, V.; MÁSCULO, F. S. **Tópicos emergentes e desafios metodológicos em Engenharia de Produção**: casos, experiências e proposições – v. II. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009. 542 p. ISBN: 978-85-88478-38-1.
- PACCHINI, A.; EROL, S.; SIHN, W. The degree of readiness for the implementation of industry 4.0. **Computers in industry**, [s.l.], v 113, p 1-8, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361519303835>. Acesso em: 10 jun 2022.

PEUKERT, S. *et al.* Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks. **Production management**, oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-020-00953-0>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339132818_Process_model_for_the_successful_implementation_and_demonstration_of_SME-based_industry_40_showcases_in_global_production_networks. Acesso em: 10 jun 2022.

SCHUMACHER, A. *et al.* A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. Changeable, agile, reconfigurable and virtual production, **Science direct**, p 161- 165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909>. Acesso em: 10 jun 2022.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Relatório de Maturidade Industrial**. [s.d.]. Disponível em: https://maturidade.senai40.com.br/#/quiz/quiz_report/5ef271dee78ff4001e8456f6. Acesso em: 15 jan 2022.

SJÖDIN, D. R. *et al.* Smart factory implementation and process innovation. **Research-technology management**, n 61, pp 22-31, sep. 2018. DOI:10.1080/08956308.2018.1471277. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327611105_Smart_Factory_Implementation_and_Process_Innovation_A_Preliminary_Maturity_Model_for_Leveraging_Digitalization_in_Manufacturing. Acesso em: 10 jun. 2022.

SONY, M. *et al.* Essential ingredients for the implementation of quality 4.0: a narrative review of literature and future directions for research. **The TQM journal**, v.61, n.5, p. 22-31, 2018. ISSN 1754-2731, p1-20, 2020. DOI:10.1108/TQM-12-2019-0275. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339994641_Essential_ingredients_for_the_implementation_of_Quality_40_A_narrative_review_of_literature_and_future_directions_for_research. Acesso em: 05 abr 2022.

ZAIDIN, N. *et al.* Quality management in industry 4.0 era. **Journal of management and science**, [s.l.], v.8, n.2, p. 82-91, 2018. DOI:10.26524/jms.2018.17. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328630839_Quality_Management_in_Industry_40_Era. Acesso em: 17 jun. 2022

ZELLER, V.; HOCKEN, C.; STICH, V. Acatech industrie 4.0 maturity index – a multidimensional maturity model. In: IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT, 15, 2018, Turin. **Proceedings [...]** Turin: Springer, 2018. Disponível em: https://hal.inria.fr/hal02177844/file/472851_1_En_14_Chapter.pdf. Acesso em: 03 jul 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

APÊNDICE A - Questionário

Questionário de avaliação de maturidade da qualidade 4.0 aplicado a gestão da qualidade do produto

Organização:

Nome:

E-mail (opcional):

Tamanho da organização:

- ☐ até 1000
- ☐ 1000 – 3000
- ☐ 3000 – 5000
- ☐ acima 5000

Setor de atuação:

- ☐ Siderurgia
- ☐ Autopeças
- ☐ Revestimentos
- ☐ Montadora
- ☐ outros

Função exercida:

- ☐ Engenheiro
- ☐ Supervisor
- ☐ gerencia
- ☐ Diretoria
- ☐ Presidencia / CEO

Formação de Graduação:

- ☐ Engenharias
- ☐ Bacharelado em administração ou afins
- ☐ Especialização/ Pos Graduação
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutorado

Experiência profissional no ramo industria

- ☐ 20 anos ou mais
- ☐ Entre 10 19 anos
- ☐ Entre 5 e 9 anos
- ☐ Menos de 5 anos

Auto avaliação sobre conhecimento e conceitos da Indústria 4.0

- () Não conheço
- () Tenho conhecimento superficial
- () Tenho conhecimento bom
- () Nível especialista

Primeira rodada

Utilize os critérios de evolução a seguir para classificar o nível de aplicação das práticas / proposições apresentadas para gestão da qualidade 4.0 na sua organização nas 20 questões.

- [1] *Não existe*
- [2] *Estão iniciando*
- [3] *implementação*
- [4] *Em consolidação*
- [5] *Em aperfeiçoamento*

Segunda rodada:

Utilize a escala abaixo para indicar o grau de importância da proposição apresentada para gestão da qualidade 4.0 na indústria nas mesmas 20 questões.

- [1] *Nada importante*
- [2] *Ligeiramente importante*
- [3] *Moderadamente importante*
- [4] *Muito importante*
- [5] *Extremamente importante*

QUESTÕES

Dimensão 1 - Cliente

- 1- Aplica tecnologias para monitorar e gerenciar a satisfação dos clientes
- 2- Proporciona uma experiência digital aos clientes no processo de venda e acompanhamento do processamento de produtos e/ou serviços
- 3- Existe um sistema integrado cliente x fornecedor dedicado a atender as demandas do cliente

Dimensão 2 - Desenvolvimento de Produto

- 4- Durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas digitais de “design” (CAD)

- 5- Durante a fase de desenvolvimento de novos produtos são aplicadas ferramentas de simulações (CAE)
- 6- Durante a fase desenvolvimento do processo são aplicadas ferramentas de modelagem e simulação de desempenho dos processos.
- 7- São aplicadas técnicas de manufatura aditiva que permitam decisões mais assertivas e rápidas na construção de protótipos

Dimensão 3 - Gestão da capacidade do processo

- 8- Monitoramento da capacidade dos processos de fabricação em tempo real de toda a operação
- 9- Sistemas capazes de analisar causa de falha dos processos a partir de dados coletados dos processos e máquinas interconectadas
- 10- Tecnologias para análise em tempo real de falha dos processos produtivos com capacidade inclusive de quantificar as perdas evitadas ou já realizadas
- 11- Sistemas automáticos capazes de garantir a conformidade dos produtos, através da tomada de decisão, identificando tendências de desvio antecipadamente

Dimensão 4 – Integração e gestão de sistemas

- 12- As informações digitais coletadas são precisas e de fácil acesso além de garantir a rastreabilidade do produto
- 13- Existe tecnologia aplicada para integrar o controle dos diversos processos em tempo real monitorando os ganhos de performance
- 14- Os postos de controle de qualidade dos processos e inspeções utilizam sistemas de visão integrados para garantia da qualidade
- 15- Existem tecnologias de realidade aumentada empregada nos processos com interface humana
- 16- Existe aplicação ou modelos de inteligência artificial integrado aos postos de controle de qualidade dos processos

Dimensão 5 - Envolvimento da liderança

- 17- A liderança tem uma visão estratégica para evolução e implementação de práticas da Q4.0 (focar na qualidade)
- 18- Existe plano de investimento em tecnologias e ferramentas que suportem o desenvolvimento consistente da Q4.0 (focar na qualidade)

Dimensão 6 – Cultura e engajamento colaboradores

- 19- Existe uma cultura organizacional que estimule o desenvolvimento e engajamento dos colaboradores para implementação de uma jornada da qualidade 4.0
- 20- Como podemos classificar o nível de conhecimento e aceitação dos funcionários na utilização das principais tecnologias aplicadas a gestão da qualidade 4.0