

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Engenharia e Ciências – Campus de Guaratinguetá

JOSIVAL ANTONIO DO NASCIMENTO

**USO DO MÉTODO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE PARA
MELHORIA NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AROS PARA RODAS DE
VEÍCULOS COMERCIAIS**

Guaratinguetá-SP

2024



JOSIVAL ANTONIO DO NASCIMENTO

**USO DO MÉTODO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE PARA
MELHORIA NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE AROS PARA RODAS DE
VEÍCULOS COMERCIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências – Campus de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Qualidade

Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti

Co-orientador: Prof. Dr. José de Souza Rodrigues

N244u	<p data-bbox="536 1182 919 1211">Nascimento, Josival Antonio do</p> <p data-bbox="536 1218 1262 1352">Uso do método desdobramento da função qualidade para melhoria no processo de laminação de aros para rodas de veículos comerciais / Josival Antonio do Nascimento - Guaratinguetá, 2024.</p> <p data-bbox="580 1359 676 1388">61 f : il.</p> <p data-bbox="580 1395 836 1424">Bibliografia: f. 57-60</p> <p data-bbox="536 1462 1262 1525">Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2024.</p> <p data-bbox="580 1563 1098 1592">Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti</p> <p data-bbox="580 1599 1161 1628">Coorientador: Prof. Dr. José de Souza Rodrigues</p> <p data-bbox="536 1666 1246 1760">1. Gestão da qualidade total. 2. Planejamento e controle da produção. 3. Indústria automobilística. 4. Serviço ao cliente. I. Título.</p> <p data-bbox="1046 1800 1262 1830">CDU 658.56(043)</p>
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente dissertação apresenta um instrumento que permiti traduzir a voz dos clientes em características mensuráveis que possibilita a identificação de melhorias na eficiência e na qualidade dos processos produtivos em organizações. Podendo ser aplicado para solucionar problemas crônicos que afetam direta e indiretamente a qualidade dos produtos. Dessa forma o potencial desta dissertação é a utilização da ferramenta desenvolvida como suporte no atendimento às necessidades e requisitos dos clientes através da melhoria contínua 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 that allows the translation of the voice of customers into measurable characteristics that enable the identification of improvements in the efficiency and quality of production processes in organizations. It can be applied to solve chronic problems that directly and indirectly affect product quality. Thus, the potential of this dissertation is revealed in this sense, as a support tool for continuous quality improvement in organizations that aim to evolve and remain competitive in an increasingly demanding and innovative market. Furthermore, the work encourages 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 that can contribute to the more sustainable development of organizations and the formation of an organizational culture. guided by the constant improvement and evolution of the community and processes.

JOSIVAL ANTONIO DO NASCIMENTO

**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: 19/04/2024 12:27:13-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Prof. Dr. Gislaíne Cristina Batistela
Coordenadora - PPGEP-MP

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
ANTONIO WAGNER FORTI
Data: 31/03/2024 17:20:50-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI

Orientador - UNESP

participou por videoconferência



Documento assinado digitalmente
REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA
Data: 12/04/2024 09:12:22-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Prof. Dr. REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA

UNESP - BAURU

participou por videoconferência



Documento assinado digitalmente
JOAO BATISTA TURRIONI
Data: 04/04/2024 10:00:18-0300
Verifique em <https://validar.jb.gov.br>

Prof. Dr. JOÃO BATISTA TURRIONI

UNIFEI

participou por videoconferência

DADOS CURRICULARES

JOSIVAL ANTONIO DO NASCIMENTO

NASCIMENTO 19.05.1972 – Afogados Da Ingazeira / PE

FILIAÇÃO Josafá Antonio Do Nascimento
Maria Alexandrina do Nascimento

2006/2010 Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade Cruzeiro do Sul – São Paulo SP

Dedico este trabalho, de modo especial, à minha mãe Maria Alexandrina pelos dias e noites de batalhas em cima de uma máquina de costura, à minha esposa Silvana pelos anos de parceria e companheirismo e aos meus filhos Ingrid e Ian por se tornarem pessoas de bem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir acordar todos os dias para aproveitar cada segundo da benção chamada Vida.

Ao meu orientador professor Dr. Antonio Wagner Forti e meu coorientador professor Dr. José de Souza Rodrigues que me apoiaram e me guiaram do começo ao fim deste trabalho, compartilhando de seus conhecimentos e compadecendo de muita paciência.

A empresa que me acolheu e disponibilizou os recursos para que este trabalho pudesse acontecer.

A todos os integrantes da equipe multifuncional que contribuíram de copo e alma com o desenvolvimento deste trabalho.

“Em toda dificuldade existe uma oportunidade.”

Albert Einstein

RESUMO

No ambiente produtivo é comum encontrar dificuldades para alinhar projeto e conformidade do produto. Um dos desafios consiste em produzir componentes em diferentes células de produção e montá-los, em outra célula para obter o produto final, garantindo a qualidade e conformidade. Problemas de qualidade dos componentes ocorrem com certa frequência e afetam diretamente indicadores como refugo e retrabalho de uma célula de produção/montagem. O Desdobramento da Função Qualidade (QFD) é um método que tem sido utilizado para melhorar a qualidade de um produto, considerando as necessidades e requisitos dos clientes associados às características técnicas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo aplicar o método QFD na melhoria do processo produtivo de uma empresa multinacional que produz rodas para vários segmentos. Como se trata de uma pesquisa com base empírica, o método escolhido para condução do trabalho foi o de pesquisa-ação. O trabalho ocorreu em uma linha de produção de aros, visando melhorar sua qualidade e reduzir o índice de refugo da linha de montagem de rodas. A aplicação do QFD permitiu identificar e priorizar as características que mais afetam a qualidade do produto, como os “Batimentos Radial e Axial”, dessa forma dando um direcionamento na tomada de decisão quanto às melhorias a serem implantadas. Dois aros foram contemplados com a melhoria proposta e os resultados obtidos foram satisfatórios, uma redução significativa no índice de PPM para batimentos acima do especificado foi comprovada através das análises dos dados, onde todos os batimentos apresentaram redução no índice de PPM. Na linha de montagem de rodas os resultados também foram positivos, apresentando redução no índice de PPM do indicador de refugo de batimento. Diante dos resultados obtidos concluiu-se que o uso do QFD teve um papel fundamental na tomada de decisão que gerou a melhoria implementada, a qual se mostrou robusta e será replicada para outros produtos.

PALAVRAS-CHAVE: QFD; Processo de Fabricação de Aros; Melhoria de Processos; Indústria Automotiva.

ABSTRACT

In the production environment, it is common to encounter difficulties in aligning design and conformity of the product. One of the challenges is to produce components in different production cells and assemble them in another cell to obtain the final product, ensuring the quality and conformity. Component quality problems occur with certain frequency and directly affect indicators such as scrap and rework in a production/assembly cell. Quality Function Deployment (QFD) is a method that has been used to improve the quality of a product, considering customer needs and requirements associated with technical characteristics. In this context, this work aimed to apply the QFD method to improve the production process of a multinational company that produces wheels for various segments. As this is empirically based research, the method chosen to conduct the work was action research. The work took place on a rim production line, aiming to improve their quality and reduce the scrap rate on the wheel assembly line. The application of QFD made it possible to identify and prioritize the items that most affect product quality, such as “Radial and Axial Run outs”, in this way giving a direction in decision-making as to the improvements to be implemented. Two rims were included with the proposed improvement and the results obtained were satisfactory, a significant reduction in the PPM index for run outs above the specified was proven through data analysis, where all run outs showed a reduction in the PPM index. On the wheel assembly line, the results were also positive, showing a reduction in the PPM index of the run-out scrap indicator. Given the results obtained, it was concluded that the use of QFD played a fundamental role in the decision-making that generated the implemented improvement, which proved to be robust and will be replicated for other products.

KEYWORDS: QFD; Rim Manufacturing Process; Process Improvement; Automotive Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – QFD: Desdobramento em Cascata	22
Figura 2 – Fases do QFD	23
Figura 3 – Matriz Casa da Qualidade	24
Figura 4 – Diferença entre Elementos e Características de Qualidade	27
Figura 5 – Procedimento para Obter Características de Qualidade do Produto	28
Figura 6 – Representações da Intensidade das Correlações	29
Figura 7 – Exemplo de simbologia para estabelecimento das correlações	30
Figura 8 – O processo Cíclico da pesquisa-ação	32
Figura 9 – Fluxo esquemático da Linha de Fabricação de Aros	34
Figura 10 – Matriz de Relacionamento e Correlações	42
Figura 11 – Pontuação da matriz de correlação das CQs	43
Figura 12 – Matriz das correlações das CQs	43
Figura 13 – Representações genérica da matriz de qualidade	44
Figura 14 – Matriz HoQ concluída	46
Figura 15 – Gráfico de Pareto para os itens das características da qualidade	47
Figura 16 – Gráfico do indicador de sucata da linha de Montagem SC1	48
Figura 17 – Sequência de montagem da roda	49
Figura 18 – Pontos de controle dos batimentos do aro	49
Figuro 19 – Rolos segmentados	50
Figura 20 – Rolos únicos (novo conceito)	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipe Multifuncional	36
Tabela 2 – Ferramentas a serem construídas	52
Tabela 3 – Resultados dos batimentos do aro “Antes e Depois” da melhoria	53
Tabela 4 – Resultados dos batimentos das rodas “Antes e Depois” da melhoria	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Desdobramento de Cena – Qualidade Exigida	37
Quadro 2 – Qualidade Exigida – Grau de Importância	38
Quadro 3 – Qualidade Exigida e Características de Qualidade	40
Quadro 4 – Fragilidades do Rolo Segmentado	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QFD	Quality Function Deployment
AHP	Analytic Hierarchy Process
HoQ	House of Quality
QE	Qualidade Exigida
CQ	Característica de Qualidade
IQE	Importância da Qualidade Exigida
PaC	Peso absoluto da Característica da qualidade
PrC	Peso relativo da Característica da qualidade
CRs	Requisitos do Cliente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA.....	17
1.2	JUSTIFICATIVAS.....	17
1.3	OBJETIVO.....	18
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.5	DELIMITAÇÃO DO PROJETO.....	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	QFD – DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE.....	20
2.2	PASSO 1: REQUISITOS DO CLIENTE.....	24
2.3	PASSO 2: PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS DO CLIENTE.....	25
2.4	PASSO 3: BENCHMARKING COMPETITIVO.....	25
2.5	PASSO 4: PRIORIZAÇÃO COMPETITIVA DOS REQUISITOS DO CLIENTE.....	26
2.6	PASSO 5: CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE.....	26
2.7	PASSO 6: MATRIZ DE RELACIONAMENTO.....	28
2.8	PASSO 7: MATRIZ DE CORRELAÇÕES DAS CQs.....	29
2.9	PASSO 8: PRIORIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE.....	30
2.10	PASSOS 9 e 10: BENCHMARKING TÉCNICO E CONFIGURAÇÃO ALVO.....	31
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	32
3.1	MONITORAMENTO.....	33
3.2	PLANEJAR A PESQUISA-AÇÃO.....	33
3.2.1	Contexto e propósito da pesquisa.....	33
3.2.2	Estrutura conceitual-teórica.....	34
3.2.3	Seleção da unidade de análise e técnicas de coleta de dados.....	34
3.3	COLETAR DADOS.....	35
3.4	ANALISAR DADOS E PLANEJAR AÇÕES.....	35
3.4.1	Formação da equipe multifuncional.....	36
3.4.2	Elaboração da matriz Casa da Qualidade.....	37
3.4.3	A característica de produto “Batimento”	48
3.4.4	Elaboração do plano de ações.....	49
3.4.5	Proposta.....	50
3.5	IMPLEMENTAR AÇÕES.....	52

SUMÁRIO

4	RESULTADOS.....	53
4.1	AVALIAR RESULTADOS E GERAR RELATÓRIOS.....	53
4.1.1	Índice de PPM.....	53
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A – Questionário.....	61

1 INTRODUÇÃO

A forte concorrência no setor automotivo é um dos fatores que contribui para que as companhias deste segmento busquem atingir altos níveis de qualidade de seus produtos atrelado ao menor custo de fabricação, sem deixar de atender a satisfação dos seus clientes.

O sucesso do negócio depende da satisfação e superação das expectativas dos clientes em quesitos como qualidade do produto ofertado, atendimento dos prazos acordados e menor custo do produto.

Segundo Ginting e Muhammad (2020) o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) é um método utilizado para entender as necessidades e expectativas dos clientes em relação a um produto ou serviço e, a partir disso, traduzir essas informações em requisitos de qualidade que orientem todo o processo de produção ou prestação de serviço.

De acordo com Tan e Xiong (2020) o QFD usa a voz ou necessidades dos clientes para determinar a prioridade de peças-chave, características técnicas, processos etc. Pode ser usado para melhorar a qualidade dos produtos existentes ou desenvolver novos produtos. Tem sido amplamente utilizado em várias indústrias, incluindo indústrias eletrônicas, de software, automotivas e de materiais etc.

Segundo Wurjaningrum (2008) o QFD é uma técnica utilizada para garantir a qualidade em cada estágio da criação de itens, começando pelo próprio plano de qualidade.

Hu-Chen et al. (2021) citam o QFD como um sistema de gestão da qualidade orientado para o cliente, que considera não apenas as necessidades dos clientes, mas também as capacidades de produção de uma empresa.

De acordo com Li et al. (2018) a implementação do QFD em uma organização pode satisfazer os Requisitos do Cliente (CRs), aumentar a qualidade dos produtos, diminuir o custo do produto, otimizar a especificação do projeto e reduzir significativamente o tempo do ciclo de desenvolvimento.

Ginting e Muhammad (2020) indicam que as informações de dados no gráfico QFD são organizadas de forma a mostrar a relação entre as necessidades do cliente e as características de qualidade do produto. O QFD exhibe a relação cruzada entre as necessidades do cliente e as mudanças de projeto, bem como entre as variáveis de projeto deles mesmos. Rosnani et al. (2018) reforçam que o uso do QFD para as necessidades do cliente é convertido em vários requisitos técnicos para um nível de projeto estruturado com uma matriz inter-relacionada.

Autores como Rosnani et al. (2018) ressaltam que a combinação do QFD com outras técnicas pode resolver problemas de planejamento de produto e pode formar a base de

futuras pesquisas. Métodos integrados de inovação combinando QFD com outras ferramentas de engenharia como FMEA, AHP, modelo de Kano e outras, podem resolver os principais problemas contraditórios no processo, desde a análise da demanda do produto passando pelo projeto do produto até a produção e aplicação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÕES DE PESQUISA

No ambiente produtivo é comum encontrar dificuldades para alinhar a qualidade de projeto e conformidade com as necessidades do cliente. Um dos desafios encontrados é que organizações produzem componentes em diferentes células de produção, os quais serão montados numa célula diferente para se obter o produto final. Problemas de qualidade dos componentes ocorrem com certa frequência e isso afeta diretamente indicadores como de refugo e retrabalho desta célula de montagem.

O QFD é um método de trabalho que permitir a avaliação do produto em relação ao desejado pelo cliente e, também, a padrões esperados como ocorre com a área de qualidade, especialmente a qualidade da conformidade.

Neste trabalho o QFD foi aplicado em uma linha de produção específica, que produz aros para rodas de veículos comerciais, visando melhorar a qualidade do componente (aro) e corroborar para reduzir o índice de reprovação da linha de montagem de rodas, buscando responder a seguinte questão:

Como a utilização do Desdobramento da Função Qualidade pode impactar no processo de laminação de aros?

1.2 JUSTIFICATIVAS

O planejamento da qualidade do processo é uma atividade importante de Garantia da Qualidade. Ele tem como objetivo determinar os processos de fabricação adequados para produzir com qualidade. O QFD é uma poderosa ferramenta da qualidade, que começa com a identificação das necessidades do cliente e termina com a determinação de planos de processo, produção e qualidade (ZHENG; CHIN, 2005).

Com base no método QFD, este trabalho busca identificar as principais variáveis do processo de fabricação de aros que afetam a qualidade da conformidade e alinhá-lo com as necessidades do cliente. A sistemática utilizada nesse trabalho servirá de base para aplicação em outras células de processo produtivo da empresa.

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é aplicar o QFD no processo de laminação de aros para rodas de veículos comerciais, visando melhorar a qualidade do produto.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as necessidades do cliente e priorizá-las conforme sua importância;
- Transformar as necessidades do cliente em características técnicas mensuráveis;
- Identificar as características técnicas que mais afetam na qualidade do produto;
- Definir ações de melhoria para o processo de laminação de aros;
- Aplicar as ações de melhoria e avaliar os resultados obtidos.

Dadas as características do QFD, espera-se que, ao final deste trabalho, haja melhor compreensão dos fatores que influenciam ou afetam as características de qualidade e das necessidades do cliente, permitindo a proposição de ações que gerem melhorias no processo de laminação de aros, visando diminuir as perdas e torná-lo mais adequado às necessidades do cliente.

1.5 DELIMITAÇÃO DO PROJETO

O trabalho foi realizado em uma empresa multinacional do segmento automotivo, fabricante de rodas de aço para veículos leves, pesados e máquinas agrícolas, além de rodas de alumínio para veículos leves. A companhia conta com 23 plantas situadas nas Américas do Sul e Norte, Europa e Ásia. No Brasil são 3 plantas, uma delas localizada em uma cidade do interior de São Paulo, onde o trabalho foi realizado.

O foco é uma linha de fabricação de aros para rodas de veículos comerciais (caminhões, ônibus e vans) composta por 14 operações divididas em dois blocos: o primeiro denominado de pré aro, que vai da operação 1 até a operação 6 e o segundo, onde o estudo está concentrado, denominado Laminação de aro iniciando na operação 7 e finalizando na operação 14.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 (cinco) capítulos: Introdução, Revisão da Literatura, Método de Pesquisa, Resultados, Conclusões e Considerações finais.

No capítulo 1 faz-se o levantamento do problema, as justificativas, definição dos objetivos geral e específicos e delimitação do projeto.

No capítulo 2 contém uma revisão da literatura sobre o método Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e o processo de construção da matriz “Casa da Qualidade”, principal matriz do QFD.

No capítulo 3 é apresentado o método de pesquisa juntamente com as atividades e estudos pertencentes a cada etapa do processo cíclico da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos após implementação da melhoria proposta.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 QFD – O DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE

Akao (1996) atribui a criação e o desenvolvimento do método QFD à sua autoria em conjunto com o professor Shigeru Mizuno, no Japão, em 1972. O método QFD foi primeiramente aplicado nos estaleiros da *Mitsubishi Heavy Industries Ltd.*, fabricante de navios de grande porte, por uma solicitação do governo, e que tinha por objetivo estruturar um processo que permitisse vincular cada etapa da construção do navio à satisfação de determinados requisitos (CLAUSING; HAUSER, 1988).

Desde a criação do método, muitos autores conceituaram QFD, a exemplo de Akao (2004) e Eureka e Ryan (1992), e desde a sua criação, em 1972, desmembraram-se várias diretrizes durante a sua aplicação nos mais diversos setores da indústria de bens e serviços do mundo. Dentro deste contexto, cada autor trouxe uma interpretação diferente para o método. Sendo assim, se apresentam abaixo as principais interpretações para o Desdobramento da Função Qualidade.

Sob o conceito de Akao (2004), criador do modelo, QFD é um método para o desenvolvimento de um projeto destinado à satisfação do consumidor e, em seguida, transformar as demandas do consumidor em metas de garantia da qualidade e requisitos do projeto, para serem usados durante toda a sua fase de produção. Pode-se então entender o QFD como um sistema para a conversão de demandas dos consumidores em características de qualidade, de modo a desenvolver um produto ou serviço mais assertivo em termos de satisfação aos usuários.

Eureka e Ryan (1992) definem o Desdobramento da Função Qualidade como “um sistema que traduz as necessidades do cliente em apropriados requisitos para a empresa, em cada estágio do ciclo de desenvolvimento do produto”. Logo, a aplicação de suas metodologias visa assegurar o desenvolvimento de atributos dirigidos para as demandas do cliente e do mercado, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento, passando pela engenharia, produção, marketing, vendas e distribuição.

De acordo com Yang et al. (2011) afim de reduzir o lead-time de projeto para reduzir o custo de projeto e melhorar a qualidade do produto, os novos produtos/sistemas geralmente são desenvolvidos melhorando os produtos existentes através da alteração de seus componentes e parâmetros.

Autores como Shin et al. (2015), ressaltam que os métodos existentes para identificar os

componentes a serem melhorados focam principalmente nas necessidades e requisitos do cliente. De acordo com Yan e Ma (2015) o método mais utilizado é o QFD, que geralmente aplica uma matriz para classificar os fatores importantes dos componentes do produto existentes.

Conforme estudado e avaliado por Zhengfeng et al. (2018), numa empresa do setor automotivo foi encontrada uma condição em que o QFD pode contribuir nestes dois aspectos, auxiliar na identificação das variáveis críticas relacionadas à qualidade da conformidade e das necessidades dos clientes internos em alguns processos produtivos. Esse mesmo autor ressalta que o método QFD pode ser amplamente utilizado no desenvolvimento de outras peças-chave.

Para Santos (2017) a estrutura do método QFD ajuda a compartilhar conhecimentos importantes em meio a uma organização. Alguns dos tipos de conhecimentos que são importantes quando se usa esse método incluem:

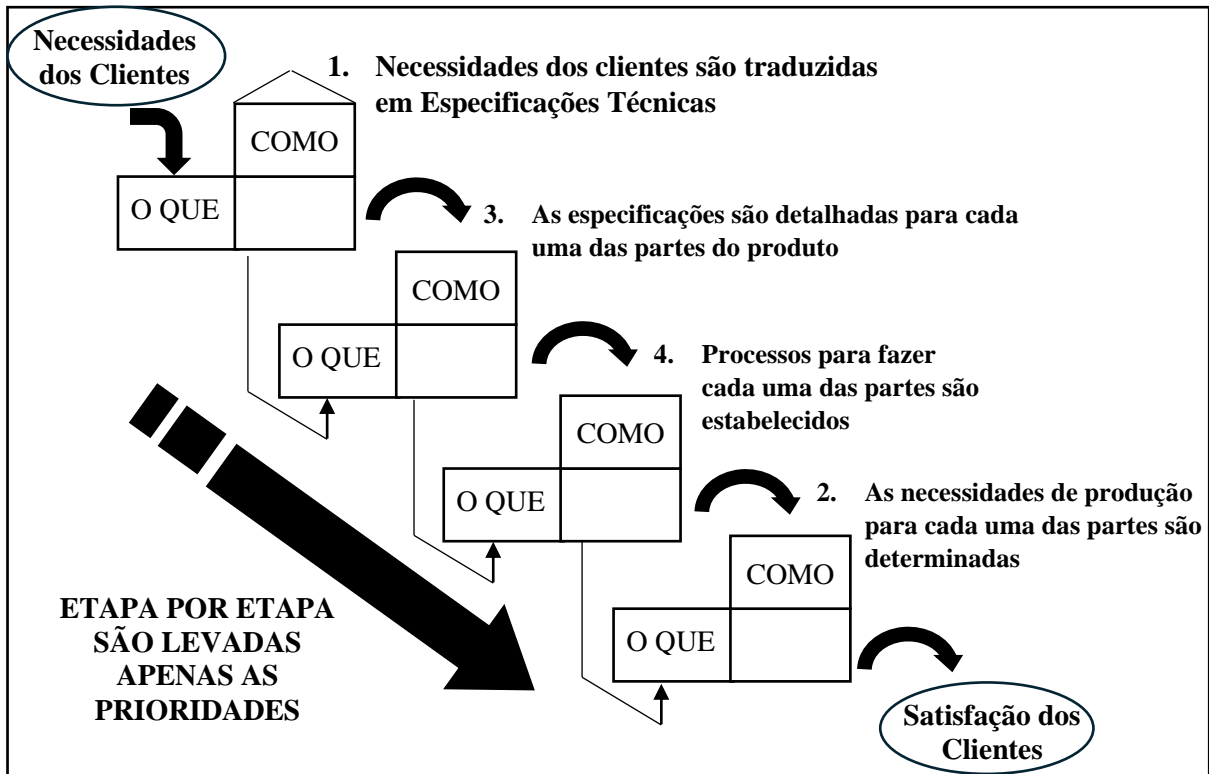
- **Compreensão das necessidades do cliente;** frequentemente isso é uma função de marketing.
- **Compreensão das características de qualidade relacionadas às necessidades e suas importâncias relativas para o cliente;** isso usualmente é uma combinação de projeto de marketing e de engenharia.
- **Compreensão dos “fatores” que influenciam ou afetam as características de qualidade;** dependendo da situação específica, os exemplos de fatores podem incluir condições e métodos de processo, tipos de equipamento ou ferramentas, materiais, layouts, ambiente e níveis de habilidade e treinamento; isso usualmente é uma função de projeto de engenharia.

Cheng e Melo Filho (2007) consideram que o QFD é uma forma de comunicar sistematicamente informações relacionadas com a qualidade e uma forma de explicitar ordenadamente trabalho relacionado com a obtenção da qualidade.

Segundo Alvarenga Netto (2017), o QFD vale-se de uma série de matrizes, onde cada uma representa uma fase do QFD e os dados de saída da primeira matriz serão os dados de entrada da segunda e assim sucessivamente.

Na Figura 1 é ilustrado o desdobramento em cascata do QFD, explicando o fluxo das matrizes.

Figura 1 – QFD: Desdobramento em Cascata

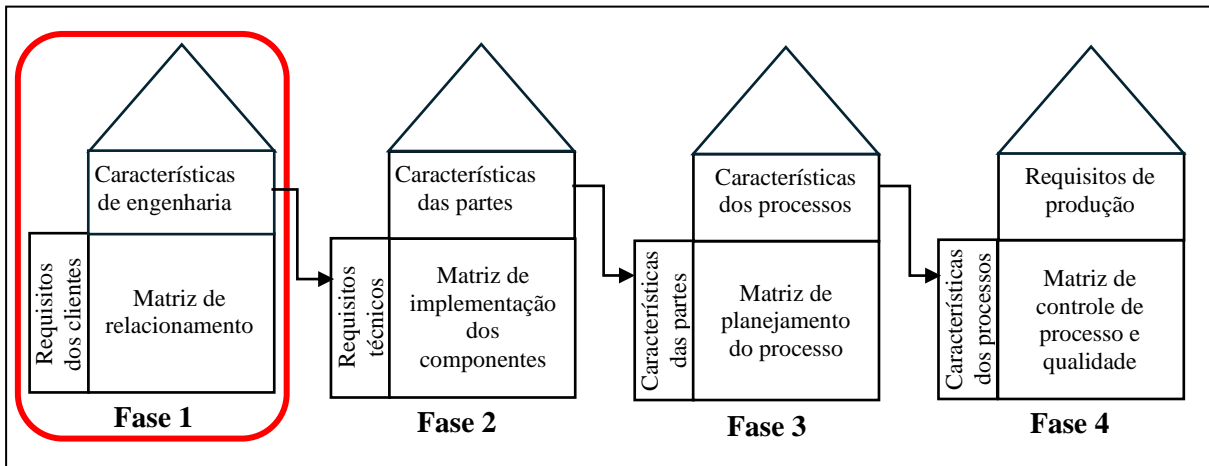


Fonte: Alvarenga Netto (2017).

De acordo com Fiorenzo et al. (2017), o QFD possui quatro fases de implementação que vão desde a obtenção das necessidades dos usuários até a definição das principais características técnicas e parâmetros de controle de qualidade. A primeira fase do QFD é construção da casa da qualidade (HoQ), que é formada por uma matriz que traduz as necessidades dos clientes em requisitos de projeto. Na segunda fase, os requisitos de engenharia estão relacionados com um conjunto de características através da matriz de planejamento dos componentes do projeto. Na terceira fase, ocorre o relacionamento entre os componentes do projeto com as características dos processos e pôr fim a quarta fase em que ocorre a definição dos parâmetros de qualidade usando a matriz de controle de processo e qualidade.

Na Figura 2 são ilustradas as fases do QFD, em destaque a fase 1 (HoQ), que será abordada com profundidade neste trabalho.

Figura 2 – Fases do QFD



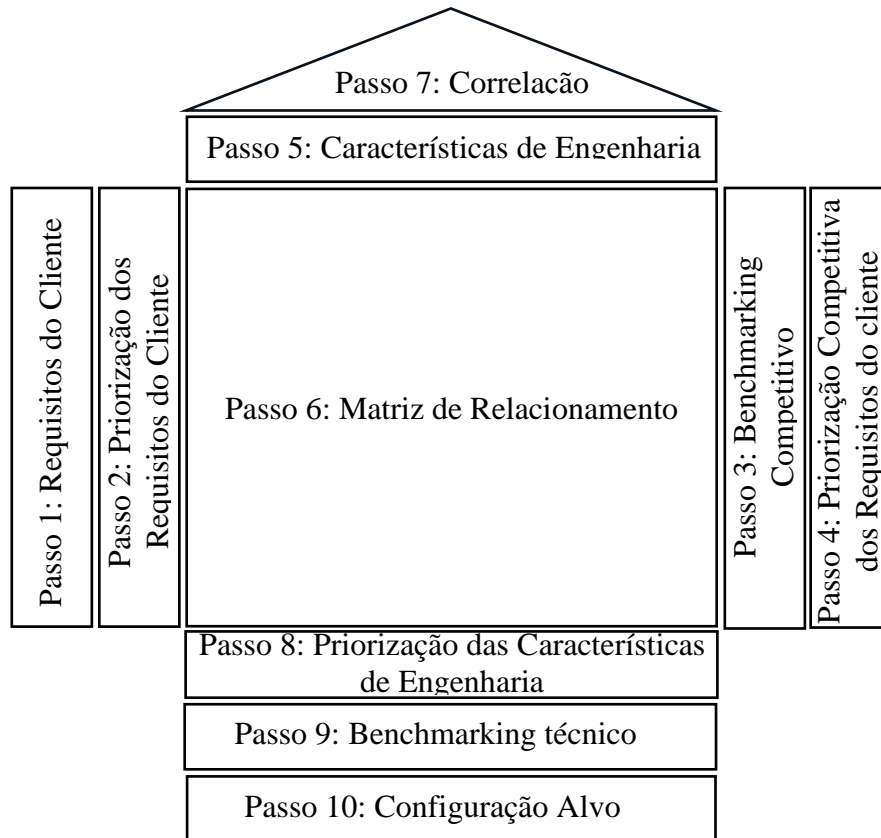
Fonte: Fiorenzo et al. (2017).

Fiorenzo et al. (2017), citam que a HoQ traduz os requisitos do cliente (CRs) em características mensuráveis de engenharia (ECs), que são os requisitos técnicos do produto/serviço. Um dos principais objetivos desta fase é a definição de relacionamentos entre CRs e ECs, e a priorização destes ECs, levando em consideração (i) seus relacionamentos com CRs e (ii) a importância dos CRs relacionados. Autores como Gonzalez, Quesada e Bahill (2003), afirmam que a matriz HoQ é de importância fundamental e estratégica para o QFD.

Para Oliveira et al. (2010) utilizando a HoQ, pode-se identificar quais os requisitos técnicos são os mais importantes e com isso saber qual a ordem de atuação para melhorar os indicadores, além de ser possível comparar e determinar quais requisitos de projeto precisam ser melhorados ou mantidos no mesmo nível. Oliveira et al. (2010) ressaltam ainda que, estes resultados são definidos através dos resultados obtidos pela correlação entre as necessidades dos usuários e os requisitos de projeto.

De acordo com Fiorenzo et al. (2017), o processo de construção da matriz HoQ de planejamento do produto pode ser resumido em dez fases, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Matriz Casa da Qualidade



Fonte: Fiorenzo et. al. (2017).

2.2 PASSO 1: REQUISITOS DO CLIENTE

Segundo Sireli e Ozan (2007), a entrada do cliente, também definida como Voz do Cliente (VoC), é o ponto de partida chave para o processo QFD; se não refletir com precisão o que o cliente espera do produto/serviço de interesse, o processo pode levar a conclusões incorretas.

De acordo com Akao (1996), as informações obtidas junto aos clientes por meio de pesquisas de mercado, ou por outro meio, produzem uma grande quantidade de informações que são denominadas de dados originais ou informações primitivas.

Segundo Cheng e Melo Filho (2010), em geral os clientes não expressam suas necessidades diretamente, mas por meio de descrições sobre seus desejos. Tomando como referência os produtos existentes, eles expressam aspectos de que não gostam, sugerem contramedidas para melhorar o produto ou, ainda, falam muito genericamente sobre como eles gostariam que o produto fosse. Cheng e Melo Filho (2010), ressaltam que esses dados precisam, então, ser trabalhados para se transformarem em informações úteis para o projeto de desenvolvimento do produto. Assim, é preciso converter os dados originais em necessidades,

denominadas aqui de item exigido. No início de um projeto de desenvolvimento de produto, é importante pensar em todas as possíveis necessidades dos clientes; recomenda-se que o grupo crie novas exigências, exercitando a imaginação a partir dos dados originais dos clientes. De acordo com Ohfui et al. (1997), o método de Desdobramento de Cenas é útil no processo de geração de ideias. O grupo visualiza cenas possíveis de uso do produto fazendo as seguintes perguntas: Quem? Quando? Onde? Como? Por quê? E para mudar a cena, pergunta-se: “E Se?”. Cheng e Melo Filho (2010), concluem que, a partir de uma necessidade expressa vagamente pelo cliente, pode-se obter uma grande quantidade de necessidades concretas, na linguagem das pessoas do grupo de desenvolvimento.

2.3 PASSO 2: PRIORIZAÇÃO DOS REQUISITOS DO CLIENTE

De acordo com Franceschini e Maisano (2015), existem várias técnicas de abordagens para priorizar os Requisitos do Cliente (CRs). Embora todas essas técnicas devam refletir o VoC, às vezes elas podem levar a resultados enganosos, especialmente quando a abordagem de coleta de dados é muito complexa e elaborada. Aqui estão alguns exemplos:

- Técnicas baseadas em métodos multicritérios como os métodos AHP e ANP: Requerem julgamentos CR na forma de dados de comparação pareados, definidos em uma escala *de proporção*; por exemplo, CR₁ é duas vezes mais importante que CR₂;
- Técnicas que integram o modelo Kano: No ambiente QFD requerem questionários relativamente complexos;
- Questionários clássicos para priorizar os CRs: Os julgamentos dos respondentes são definidos em uma escala de resposta de classificação de cinco níveis (1= *nada importante*, 2= *baixa importância*, 3= *importância média*, 4 = *importância alta* e 5 = *importância muito alta*).

2.4 PASSO 3: BENCHMARKING COMPETITIVO

Cheng e Melo Filho (2010) citam que nesta etapa é preciso realizar um trabalho de pesquisa relacionado ao desempenho da empresa e dos principais concorrentes e consolidar em uma tabela para fazer uma comparação entre eles, com objetivo de estabelecer um plano de qualidade (nível de desempenho) da empresa para cada item da qualidade exigida. Cheng e Melo Filho (2010), concluem que o entendimento claro de como os produtos/serviços existentes (marca da empresa e concorrentes) estão atendendo aos requisitos do cliente fornece

informações importantes para a equipe multifuncional na execução de outras etapas da HoQ e de todo o processo QFD.

2.5 PASSO 4: PRIORIZAÇÃO COMPETITIVA DOS REQUISITOS DO CLIENTE

Segundo Franceschini et al. (2014) posteriormente (e opcionalmente) a classificação obtida é corrigida considerando a percepção do posicionamento dos concorrentes e de acordo com algumas considerações estratégicas de modo a obter o chamado peso relativo.

2.6 PASSO 5: CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE

Segundo Cheng et al. (1995) em muitas empresas, as pessoas responsáveis pelo desenvolvimento de produtos ainda estabelecem as características de seus produtos com base unicamente em seus conhecimentos técnicos individuais. Entretanto, Cheng e Melo Filho (2010) reforça que estas características, muitas vezes, podem não refletir a verdadeira necessidade dos consumidores. Para se evitar esse equívoco, a voz dos clientes deve ser transformada em características da qualidade mensuráveis, por meio da elaboração da tabela de características da qualidade a partir da tabela de qualidade exigida.

Akao (1996) ressalta que em alguns casos, pode surgir a necessidade de se utilizar “Elementos da Qualidade”, numa etapa intermediária do processo de elaboração da tabela de características da qualidade. Cheng e Melo Filho (2010) concluem que isso ocorre quando características mensuráveis não são facilmente obtidas a partir das qualidades exigidas. Os Elementos da Qualidade são definidos como itens não quantificáveis, capazes de avaliar a qualidade do produto (itens intermediários entre a qualidade exigida e a característica da qualidade). Já as Características da Qualidade são definidas como itens que devem ser medidos no produto para verificar se a qualidade exigida está sendo cumprida.

Na Figura 4 é ilustrado um exemplo da diferença entre Elemento da Qualidade e Característica da Qualidade para o caso de uma estrutura metálica.

Figura 4: Diferença entre Elementos e Características de Qualidade

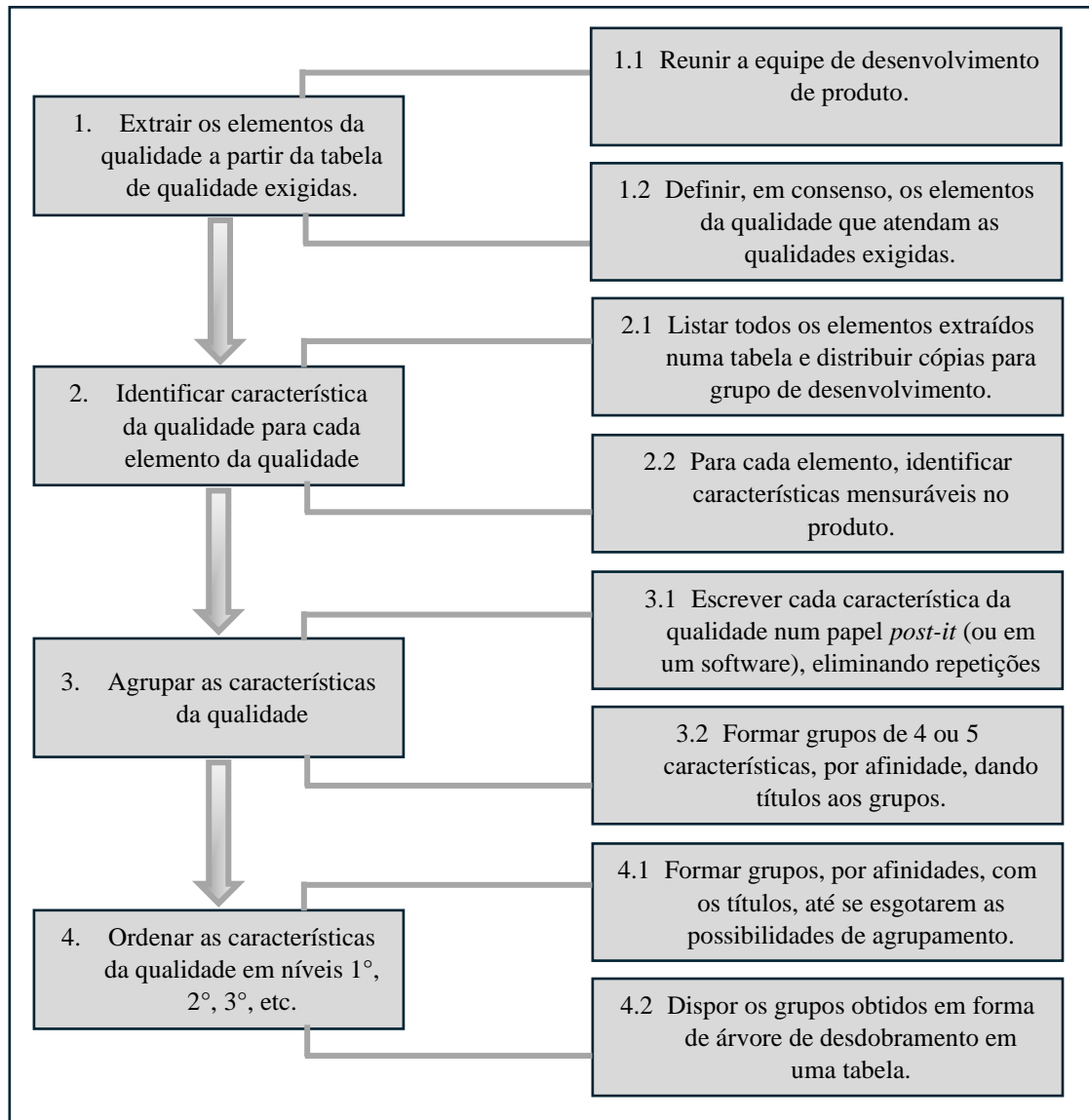
Diferença entre elementos e características da qualidade	
Elementos	Características
Resistência	Resistência à tração
	Resistência à compressão
	Resistência à torção
	Limite de escoamento
Rigidez	Rigidez horizontal
	Rigidez vertical
Dimensões	Altura
	Largura
	Comprimento
	Peso

Fonte: Cheng e Melo Filho (2010).

De acordo com Cheng e Melo Filho (2010) muitas vezes, na prática, durante a elaboração da tabela de características da qualidade, os elementos e as características da qualidade podem ser obtidos simultaneamente a partir das qualidades exigidas. Entretanto, para efeito didático, pode ser recomendável inicialmente extrair apenas os elementos da qualidade e, em seguida, obter as características da qualidade a partir desses elementos, em duas etapas bem distintas, conforme mostrado da Figura 4. Portanto, não há uma regra rígida a ser seguida. A equipe de desenvolvimento deve decidir, de acordo com a natureza do produto e a tecnologia da empresa, qual a melhor opção. Se a opção escolhida for extrair simultaneamente elementos e características da qualidade, esses itens deverão ser ordenados utilizando-se a técnica do diagrama de afinidades. Neste caso, os elementos da qualidade sempre serão escolhidos como títulos dos grupos formados por características da qualidade.

Na Figura 5 é ilustrado um procedimento proposto por Cheng e Melo Filho (2010) para obter características de qualidade do produto, porém vale ressaltar que este procedimento é mais bem aproveitado no desenvolvimento de novos produtos e para casos em que se tem maiores dificuldades para definir claramente quais as características de qualidade para cada item exigido.

Figura 5: Procedimento para Obter Características de Qualidade do Produto



Fonte: Cheng e Melo Filho (2010).

2.7 PASSO 6: MATRIZ DE RELACIONAMENTO

De acordo com Franceschini et al. (2014) a construção da HoQ requer a definição de uma matriz de relacionamento. Nesta etapa, a equipe multifuncional deve indicar como as decisões técnicas afetam a satisfação de cada CR. Em outras palavras, pede-se à equipe que expresse qualitativamente as relações entre CRs e CQs. As relações são expressas em uma escala ordinal, tipicamente codificadas em símbolos convencionais específicos.

Cheng e Melo Filho (2010) afirmam que ao correlacionar características da qualidade com qualidades exigidas, a equipe multifuncional de QFD passa a ter informações importantes sobre a relação de causa-efeito de cada item técnico do produto sobre todas as exigências dos clientes. Estes dados são muito importantes, pois mostram como as especificações do produto

afetam a satisfação dos consumidores.

Conforme Cheng e Melo Filho (2010) após a construção da matriz, devem ser identificadas as correlações entre os itens de Qualidade Exigida e Características de Qualidade. No entanto, ainda antes da definição das correlações, devem ser estabelecidos: (1) as intensidades das correlações que serão utilizadas; (2) o critério que será utilizado para a definição das correlações e (3) em função do critério escolhido, deve ser estabelecida a ordem de identificação das correlações, que podem ser por colunas, de cima para baixo sucessivamente, ou por linhas, da esquerda para a direita sucessivamente.

Na Figura 6 são mostradas algumas formas de representação da intensidade das correlações. A utilização de símbolos e/ou cores permite uma melhor visualização da distribuição das correlações nas matrizes. As intensidades destas correlações (forte, média, fraca e inexistente) devem ser sempre relacionadas a valores numéricos, pois são estes que possibilitam a realização da priorização dos itens de Qualidade exigida para os itens de Características de Qualidade, (CHENG e MELO FILHO, 2010).

Figura 6: Representações da intensidade das correlações

Correlação	Representação sugerida				
	Cor	Símbolo	Valores possíveis sugeridos		
Forte	Vermelho	⊙	9	5	4
Média	Verde	△	3	3	2
Fraca	Azul	○	1	1	1
Inexistente	-	Vazio	-	-	-
Definições para as correlações da matriz QFD					

Fonte: Cheng e Melo Filho (2010).

O critério utilizado para definição das correlações deve ser estabelecido em função do objetivo dessa atividade. Este deve ser formulado em forma de pergunta(s). Vale ressaltar que a forma de realização destas perguntas pode alterar as intensidades e a ordem de definição das correlações, por isso a importância de serem definidas conforme as necessidades de cada trabalho, (CHENG e MELO FILHO, 2010).

2.8 PASSO 7: MATRIZ DE CORRELAÇÕES DAS CQs

Segundo Pêgo (2006) a Matriz de Correlação das CQs, ou Telhado da Casa da Qualidade, tem por finalidade apontar a dependência entre as CQs, bem como identificar as características para as quais é difícil a otimização conjunta quanto à satisfação do consumidor,

além de identificar aquelas que interagem de forma positiva com a matriz.

Autores como Rafael Braga e Luciane Albuquerque (2016), consideram que a matriz de correlação juntamente com a matriz de relacionamento, apresentada na seção 2.6, consistem no coração da matriz HoQ e na sua última etapa de construção. A matriz de correlação é analisada através da atribuição de símbolos ou números para cada nível de influência, método sugerido por Clausing e Hauser (1988) para o estabelecimento das correlações e relacionamentos, onde utiliza-se símbolos para atribuições baseadas em julgamento, intuição e experiência. Na Figura 7 é mostrado um exemplo de simbologia para estabelecimento de correlações.

Figura 7: Exemplo de simbologia para estabelecimento das correlações

●	Fortemente positiva
○	Positiva
X	Negativa
#	Fortemente negativa

Fonte: Pêgo (2006).

Conforme explica Eureka e Ryan (1992) “em correlações positivas, uma Característica de Qualidade apoia a outra, e, nas negativas, as duas Características de Qualidade são conflitantes”. Cheng e Melo Filho (2010), ressaltam que estas correlações podem ser de apoio mútuo quando o desempenho favorável de um requisito ajuda o desempenho favorável de outro requisito, ou de conflito – quando desempenho favorável de um prejudica o desempenho favorável do outro.

2.9 PASSO 8: PRIORIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE

Para Cheng et al. (2010) este é um dos processos mais importantes no trabalho de construção da matriz da qualidade, pois, por meio dele é que a importância atribuída pelos clientes a cada qualidade exigida é transferida às características da qualidade, determinando as prioridades para o projeto técnico. Ou seja, em uma relação de efeito e causa, as características da qualidade são priorizadas em função da necessidade do mercado consumidor.

Por fim, Rafael Braga e Luciane Albuquerque (2016), ressaltam que os resultados da matriz da qualidade e suas análises embasarão definitivamente a etapa seguinte, o processo de desenvolvimento do plano de melhorias que estabelecerá ações a partir dos pontos de prioridade identificados nas etapas anteriores.

2.10 PASSOS 9 e 10: BENCHMARKING TÉCNICO E CONFIGURAÇÃO ALVO

Estes dois passos são os últimos e consiste em comparar a empresa e seus concorrentes em termos de desempenho de qualidade em relação a cada CQ. Em seguida, para cada CQ, é estabelecido um valor alvo de acordo com os resultados do benchmarking e a importância das CQs. Esses valores-alvo são usados como dados de entrada para o design do produto/serviço final.

De acordo com Cheng et al. (1995), muitas empresas ainda desenvolvem seus produtos sem uma avaliação cuidadosa sobre a sua situação frente aos concorrentes, no que se refere ao desempenho das Características da Qualidade (CQs) desses produtos. Segundo Cheng et al. (2010) ainda não está amplamente difundida a prática de se realizar uma comparação sistemática entre os valores atuais das características da qualidade, para os produtos que competem num mesmo mercado. Algumas vezes, o estabelecimento das especificações de projeto ainda é feito sem fatos e dados, com base exclusivamente na experiência pessoal da equipe de projetos e sem levar em consideração as necessidades do mercado. É preciso reverter rapidamente esse quadro, e o uso do QFD auxilia nisso.

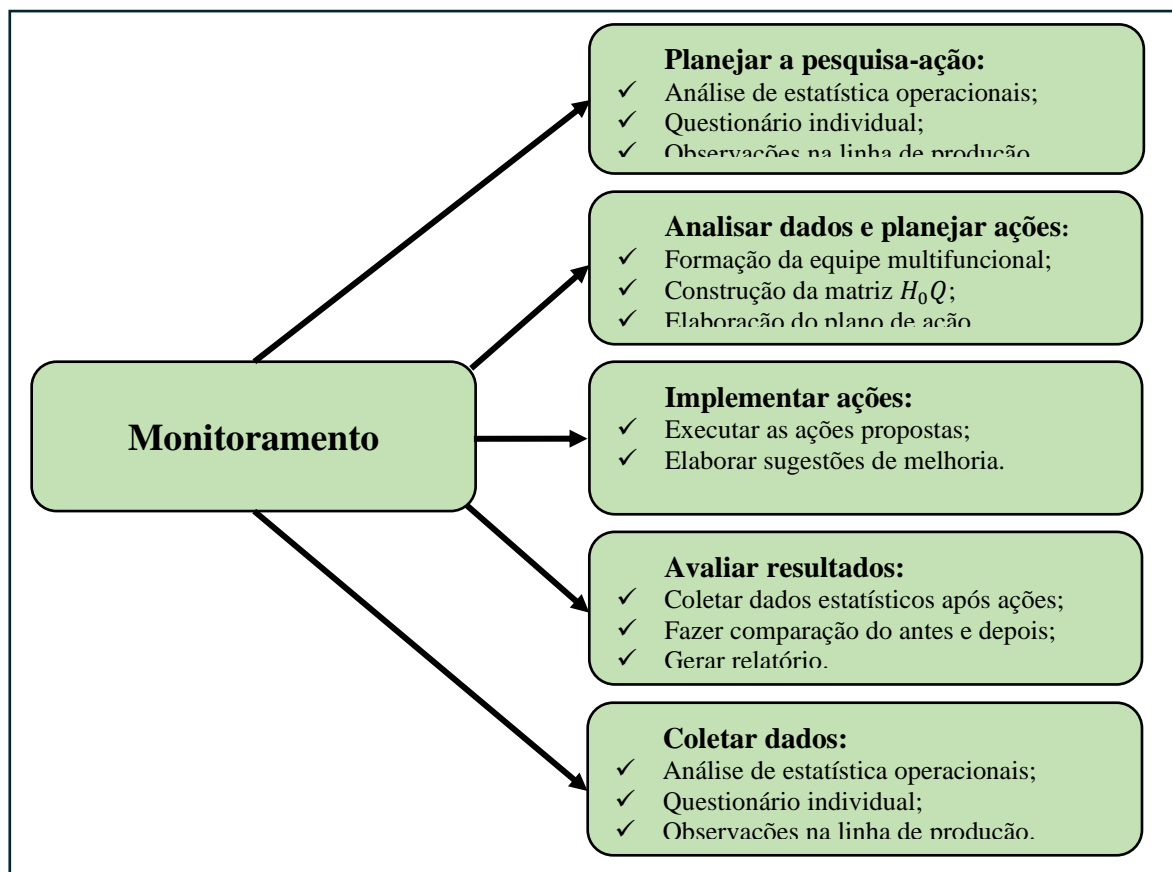
3 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Lisiane Vasconcellos et al. (2012) ao definir o método, o pesquisador delinea sua estratégia de pesquisa, ou seja, escolhe os procedimentos técnicos a serem utilizados no processo de investigação científica. O método escolhido orientará a seleção das técnicas de coleta e de análise de dados a serem empregadas pelo pesquisador.

O método escolhido para essa pesquisa foi o pesquisa-ação, de acordo com Thiollent (2007) a pesquisa-ação pode ser definida como “um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Na Figura 8 é ilustrado o processo cíclico da pesquisa-ação com as etapas a serem executadas no decorrer do trabalho de pesquisa:

Figura 8: O processo cíclico da pesquisa-ação



Fonte: Autoria própria adaptado de Mello et. al. (2012) e Coughlan e Coughlan (2002).

As atividades e estudos pertencentes a cada etapa do processo cíclico da pesquisa foram conduzidos pelo pesquisador com auxílio de uma equipe integrantes da mesma empresa onde o trabalho foi realizado.

3.1 MONITORAMENTO

O ciclo de monitoramento pode ser considerado uma adaptação do ciclo PDCA (*plan-do-check-act*), proposto por Deming (1997) e reforça a ideia de Lewin (1946) de que o método de pesquisa-ação se desenvolve em ciclos de planejamento, execução e reconhecimento ou descoberta de fatos, com o propósito de avaliar os resultados e preparar uma base racional para novos planejamentos.

De acordo com Mello et al. (2012), este ciclo continua até que os objetivos da pesquisa sejam atingidos ou abandonados ou, ainda, até que esses objetivos sejam revisados e o processo comece novamente

3.2 PLANEJAR A PESQUISA-AÇÃO

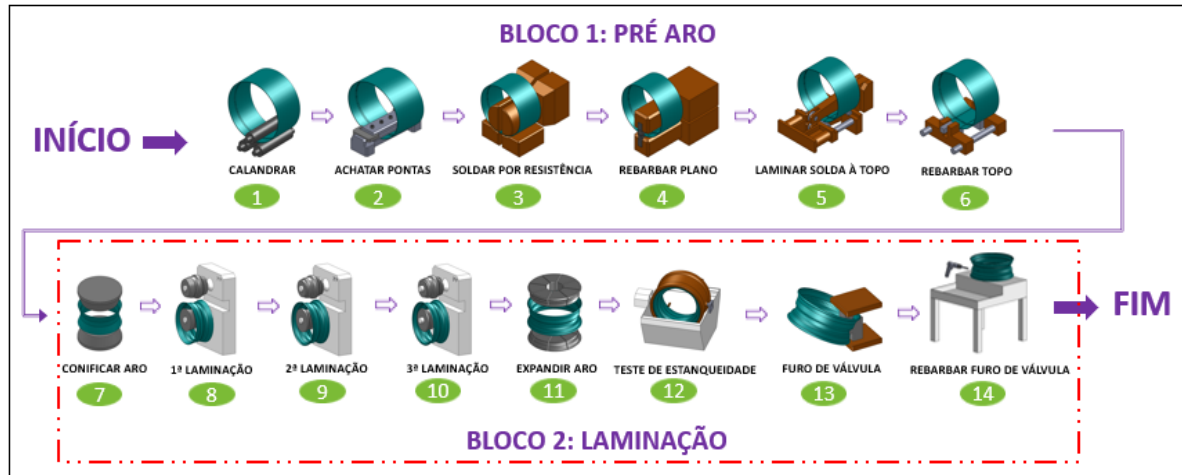
Segundo Cauchick Miguel et al. (2012), essa fase é composta por três etapas: definição do contexto e propósito da pesquisa, definição da estrutura conceitual-teórica e seleção da unidade de análise e técnicas de coleta de dados.

3.2.1 Contexto e propósito de pesquisa

Para Thiollent (2005) a definição do contexto e propósito da pesquisa, é a chamada fase exploratória, que consiste em descobrir o campo de pesquisa, os interessados e suas expectativas e estabelecer um primeiro levantamento (ou diagnóstico) da situação, dos problemas prioritários e de eventuais ações. Após o levantamento de todas as informações iniciais, os pesquisadores e os participantes estabelecem os principais objetivos da pesquisa. Os objetivos dizem respeito aos problemas considerados como prioritários, ao campo de observação, aos atores e ao tipo de ação que estarão focalizados no processo de investigação.

No caso desta pesquisa, o contexto e o propósito, foram definidos a partir do problema apresentado pela companhia onde o trabalho foi realizado. A Figura 9 ilustra o Fluxo esquemático da linha de fabricação de aros, a qual foi definida na seção 1.5 delimitação da pesquisa.

Figura 9 – Fluxo esquemático da linha de fabricação de aros



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.2.2 Estrutura conceitual-teórica

Para Rowley e Slack (2004), o objetivo da revisão de literatura é captar o estado-da-arte de um campo do conhecimento. A partir dessa revisão de trabalhos antigos (clássicos) e recentes, torna-se possível identificar áreas nas quais uma pesquisa mais profunda poderia ser benéfica.

A estrutura conceitual-teórica foi definida através de pesquisa bibliográfica realizada em livros, revistas e nas plataformas *Web of Science* e *Scopus*, com artigos do período de 2015 a 2023, contou-se também com as referências apontadas nos artigos selecionados dentro deste período. Utilizando as seguintes palavras-chave: "QFD", "Processo de Fabricação de Aros", "Melhoria de Processos", "Indústria Automotiva", nos idiomas português e inglês. Após a busca, foram pré-selecionados os artigos, por meio da leitura do título e do resumo.

3.2.3 Seleção da unidade de análise e técnicas de coleta de dados

Yin (2015) considera que a definição da unidade de análise de dados está relacionada à maneira como as questões iniciais da pesquisa foram definidas. Na pesquisa-ação, os problemas identificados pela revisão de literatura também devem ser levados em conta para a seleção da unidade de análise. O mais correto seria definir critérios, com base na questão de pesquisa e nos problemas a serem solucionados, para nortear e justificar a escolha da unidade de análise mais adequada para a condução da pesquisa. Sugere-se discutir esses critérios com outros pesquisadores, de forma a evitar a seleção incorreta da unidade de análise.

Para este trabalho a unidade de análise de dados, foi definida com base na questão de pesquisa e no problema apresentado.

3.3 COLETAR DADOS

De acordo com Coughlan e Coughlan (2002), os dados são coletados de diferentes formas, dependendo do contexto, por grupos de observação e por pesquisadores. Existem os chamados dados secundários. Esses dados são coletados através, por exemplo, de estatística operacional, informes financeiros e relatórios de marketing. Existem também os dados primários. Esses são coletados através de observação, discussões e entrevistas. A suposta leveza reside no fato de que esses dados são baseados na percepção e pode ser difícil de interpretar a sua validade.

Thiollent (2007) afirma que, independentemente das técnicas utilizadas, os grupos de observação compostos de pesquisadores e de participantes comuns procuram a informação que é julgada necessária para o andamento da pesquisa, respondendo à solicitação da etapa de monitoramento da pesquisa. Todas as informações coletadas pelos diversos grupos de observação e pesquisadores de campo são transferidas essa metáfase, onde são discutidas, analisadas, interpretadas etc.

Para este trabalho, os dados foram coletados através de estatísticas operacionais, entrevistas coletivas e individuais na célula de produção e observações realizadas pela equipe multifuncional.

3.4 ANALISAR DADOS E PLANEJAR AÇÕES

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), o aspecto crítico da análise de dados na pesquisa-ação é que ela é colaborativa, tanto o pesquisador quanto os membros do sistema cliente (por exemplo, o time de gerentes, um grupo de clientes etc.) fazem-na juntos. Esta abordagem colaborativa é baseada na suposição de que os clientes conhecem melhor a sua empresa, sabem o que irá funcionar e, principalmente, serão aqueles que irão implementar e seguir as ações a serem implementadas. Portanto, seu envolvimento na análise é crucial. Os critérios e ferramentas para a análise precisam ser discutidos e, em última instância, necessitam ser diretamente ligados ao propósito da pesquisa e no âmago das intervenções.

Neste trabalho os dados coletados foram analisados através da matriz Casa da Qualidade (HoQ), desenvolvida a partir da aplicação do QFD.

Com base na fundamentação teórica, a aplicação do QFD iniciou-se com a formação de uma equipe multifuncional incluindo os participantes da pesquisa e profissionais de diferentes áreas, como qualidade, engenharia de processos, engenharia de manufatura, engenharia de ferramental e produção.

3.4.1 Formação da equipe multifuncional

Formar uma equipe multifuncional é de suma importância quando se pretende aplicar o método QFD, a contribuição do conhecimento técnico e a experiência de cada participante sobre o tema estudado é fundamental para construção da matriz HoQ, além das decisões tomadas não ficarem centradas numa única pessoa.

A escolha dos integrantes foi baseada no conhecimento técnico e na experiência que cada um tem sobre o processo de fabricação de aros. Outro critério não menos importante foi escolher integrantes de várias áreas tais como engenharia de processos com a participação de 2(dois) engenheiros, representando a engenharia de manufatura 1(um) engenheiro, engenharia da qualidade 1(um) engenheiro, engenharia de ferramental 1(um) projetista de ferramentas e a participação de 1(um) supervisor da produção.

Na Tabela 1 estão as informações de cada integrante da equipe multifuncional referentes a cargo que ocupa na companhia, tempo de casa, formação acadêmica, experiência na fabricação de aros e nível de conhecimento do QFD.

Tabela 1: Equipe Multifuncional

Função	Tempo na companhia	Formação	Experiência na fabricação de aros	Nível de conhecimento do QFD
Engenheiro de Processos	24 anos	Engenharia Mecatrônica	18 anos	Alto (teórico)
Engenheira de Processos	3 anos	Engenharia de Materiais	3 anos	Não conhecia
Engenheiro de Manufatura	30 anos	Engenharia de Produção	23 anos	Não conhecia
Engenheiro de Qualidade	10 anos	Engenharia Mecânica	10 anos	Baixo (teórico)
Projetista de Ferramenta	25 anos	Engenharia Mecânica	15 anos	Não conhecia
Supervisor de Produção	29 anos	Engenharia de Produção	20 anos	Não conhecia
Supervisora de Produção	13 anos	Mestre Eng. de Produção	10 anos	Baixo (teórico)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.4.2 Elaboração da matriz Casa da Qualidade

Com a equipe já formada, conforme apresentado na seção anterior, uma agenda de reuniões foi organizada com uma frequência semanal. A equipe se reuniu duas vezes por semana durante dois meses, onde cada etapa do processo de construção da matriz HoQ foi discutido e posto em prática baseado no conhecimento de cada integrante sobre o processo de fabricação de aros.

Seguindo a sequência das etapas, o primeiro passo (1) para elaboração da matriz HoQ foi obter a “Voz do Cliente”, ou seja, suas necessidades e requisitos.

Uma vez que se pretende aplicar o QFD para melhorar um produto existente, utilizou-se como meio de captação da Voz do Cliente, algumas técnicas auxiliares ao QFD, como técnicas qualitativas, que são consideradas mais apropriadas, por permitirem a geração de ideias e aprofundamento no ponto de vista do usuário do produto.

A primeira técnica utilizada foi uma entrevista individual com o supervisor da linha de montagem de rodas, que neste caso é o cliente interno da célula de laminação de aros. O objetivo principal foi produzir uma lista de necessidades que fosse a mais ampla possível, com a mente livre de ideias preconcebidas, buscando aprender, simplesmente ouvindo e observando o cliente. A outra fonte de informações utilizada foi o banco de dados das reclamações dos clientes externos, no qual foi possível conhecer as reais necessidades e exigências do usuário final do produto.

Os itens exigidos que se referem à qualidade intrínseca do produto foram identificados e organizados utilizando o Desdobramento de Cena e são chamados de Qualidade Exigida do produto. O procedimento completo, desde os Dados Originais até a obtenção da Qualidade Exigida (QE), está mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Desdobramento de Cena - Qualidade Exigida

(continua)

Dados Originais	Cena (quem, onde, quando, como, por que, e se)	Item exigido	Qualidade exigida
Montar corretamente o aro no disco	Na prensa de montagem	Montar aro no disco com perfeição	Boa montabilidade entre aro e disco
Aro limpo, sem marcas, sem rebarbas e sem trincas	Quando chegar na linha de montagem	Aro não pode ter sujeira e estar isento de marcas, rebarbas e trincas	Aro isento de marcas/trincas/rebarba
Aro com código de identificação	Para não montar errado	Aro identificado corretamente	Aro isento de sujidade
			Identificação correta do aro

(conclusão)

Dirigibilidade segura e confortável	Quando estiver em movimento	Oferecer segurança ao usuário	Requisitos de segurança
		Não ter vibração	Sem vibração
O pneu e contrapeso devem montar no aro sem dificuldades	Ao montar o pneu e realizar balanceamento da roda	Montar pneu e contrapeso no aro com facilidade	Montabilidade entre aro e pneu
			Montabilidade entre aro e contrapeso
Resistente e suportar a carga exigida	Para não quebrar a roda	Resistente e robusto	Durabilidade
Não afetar o meio ambiente	Para evitar o aumento da poluição	Sustentabilidade	Requisitos ambientais

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Uma vez aplicado o método de desdobramento de cena chegou-se ao total de 10 itens denominados qualidade exigida, que em outras palavras significam as necessidades e desejos dos clientes.

O próximo passo (2) é pontuar com o grau de importância cada um destes itens e, para isso a equipe optou por usar a técnica conhecida como “Questionários clássicos para priorizar os CRs”, onde os julgamentos dos respondentes são definidos em uma escala de resposta de classificação de cinco níveis iniciando por: nada importante, baixa importância, importância média, importância alta e importância muito alta.

Para pontuar os níveis de classificação das respostas, foi elaborado o Quadro 2 no qual os itens da qualidade exigida estão representados na coluna 1 e o grau de importância de cada item está na coluna 2 com valores que vão de 1 a 5, onde [1] representa nada importante, [2] baixa importância, [3] importância média, [4] importância alta e [5] importância muito alta.

O critério de pontuação da importância foi definido com base no FMEA da roda, no qual foi possível obter o nível de risco de cada qualidade exigida, através da pontuação do NPR.

Quadro 2: Qualidade Exigida – Grau de Importância

(continua)

Item avaliado	Grau de importância				
	1	2	3	4	5
Boa montabilidade entre aro e disco					x
Aro isento de marcas/trincas/rebarbas			x		
Aro isento de sujidade		x			
Identificação correta do aro			x		
Requisitos de segurança					x

	(conclusão)				
Sem vibração					X
Montabilidade entre aro e pneu					X
Montabilidade entre aro e contrapeso			X		
Durabilidade				X	
Requisitos ambientais			X		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A sigla FMEA significa “*Failure Mode and Effect Analysis*”, em português, “Análise de Modos de Falha e seus Efeitos”. O seu método consiste basicamente em analisar as falhas que ocorrem na indústria, o porquê elas ocorrem e quais as consequências dessas falhas para a empresa, podendo-se tomar ações em tempo hábil para correção de eventuais falhas mesmo antes delas virem a ocorrer. O FMEA pode ser aplicado para falhas de produto, e para falhas de processo e tem como objetivo diminuir ou eliminar as falhas, aumentando a produtividade e auxiliando para a economia da empresa, (BONONI; POLLI, 2020).

De acordo com Santos et al. (2017), a metodologia de FMEA surgiu aproximadamente nos anos 50, na indústria aeronáutica e militar americana, com o objetivo de identificar e focar os modos e efeitos de falha bem como seu grau de severidade em dispositivos militares. Nos anos 60 e 70, a FMEA passou a se preocupar com a documentação dos modos potenciais de falhas, com o intuito de melhorar o desempenho de produtos, projetos e também seus processos de manufatura. Na década de 1980, as empresas automotivas que formam a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) incorporaram a FMEA em seus processos de desenvolvimento de produtos (BERTSCHE, 2008).

Segundo Fernandes (2005), os passos necessários para a aplicação do FMEA são os seguintes:

1. Listar os modos de falhas existentes e os potenciais;
2. Identificar os efeitos dos modos de falha e sua respectiva gravidade;
3. Identificar todas as causas possíveis para cada modo de falha e a frequência de falhas atribuída a cada causa;
4. Identificar a técnica utilizada para identificar o modo de falha e o grau de detectabilidade da falha;
5. Calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR) e definir as ações necessárias para eliminar ou diminuir a ocorrência da falha.

Segundo Pinto e Xavier (2012), para poder aplicar o passo a passo apresentado acima, alguns conceitos devem ser compreendidos, sendo esses:

- Modo de falha: o modo como a falha se apresentou ou veio a ocorrer;

- Causa: o que fez com que o modo de falha viesse a ocorrer;
- Efeito: consequência da falha;
- NPR: trata-se de um valor utilizado para determinar a quão prioritária será a falha e pode ser calculado por meio do produto de três variáveis: a frequência de ocorrência da falha (F), a gravidade da falha (G), e o grau de detectabilidade da falha (D).

De acordo com a estrutura do QFD, os próximos passos (3 e 4) para construção da matriz HoQ deveria ser o Benchmarking Competitivo e a Priorização Competitiva dos Requisitos do Cliente. Porém em conformidade com o objetivo deste trabalho, não será necessário a realização destas etapas, porque isto se aplica para novos produtos. Sendo assim, a próximo passo (5) consiste em construir uma tabela de características da qualidade a partir da tabela de qualidade exigida.

Uma vez que o produto abordado neste trabalho é existente, logo a equipe multifuncional é detentora do conhecimento das características de qualidade, com base na tecnologia da empresa e natureza do produto. Portanto, a equipe elaborou o Quadro 3 onde contempla os itens da qualidade exigida na primeira coluna e na segunda coluna suas respectivas características de qualidade.

Quadro 3: Qualidade Exigida e Características de Qualidade

(continua)

Qualidade Exigida	Característica de Qualidade
Boa montabilidade entre aro e disco	Diâmetro de Montagem do Disco
	Posição do furo de Válvula
	Tamanho das Flanges
	Recartilho (posição, largura e profundidade)
	Batimento Radial e Axial do Aro
	Calibração do Aro
	Largura do Aro
Aro isento de marcas/trincas/retrabalhos	Inclinação Região do Diâmetro de Montagem do Disco
	Tamanho das Flanges do aro
	Rolos de Laminação (acabamento superficial e Perfil)
	Recartilho (posição, largura e profundidade)
	Calibração do aro
	Concentração do Óleo Refrigerante
	Composição do Material
Aro isento de sujidade	Alinhamento do Barrilete
	Rolos de Laminação (acabamento superficial e Perfil)
	Concentração de Óleo Refrigerante
Identificação correta do aro	Alinhamento do Barrilete
	Gravação aro correta e na posição específica

(conclusão)

Requisitos de segurança	Diâmetro de Montagem do Disco
	Posição do Furo de Válvula
	Tamanho das Flanges do aro
	Rolos de Laminação (acabamento superficial e Perfil
	Recartilho (posição, largura e profundidade)
	Espessura dos Raios T1 e T2
	Calibração do Aro
	Composição do Material
	Largura do aro
	Alinhamento do Barrilete
	Diâmetro do Assentamento do Pneu
	Inclinação da Região do Diâmetro de Montagem do Disco
Sem vibração	Batimento Radial e Axial do aro
	Calibração do Aro
	Alinhamento do Barrilete
Montabilidade entre aro e contrapeso	Tamanho das Flanges do aro
	Rolos de Laminação (acabamento superficial e Perfil)
Durabilidade	Diâmetro de Montagem do Disco
	Posição do Furo de Válvula
	Tamanho das Flanges do aro
	Rolos de Laminação (acabamento superficial e Perfil)
	Recartilho (posição, largura e profundidade)
	Batimentos do Aro
	Espessura dos raios T1 e T2
	Calibração do Aro
	Concentração do Óleo refrigerante
Inclinação da Região do Diâmetro de Montagem do Disco	
Requisitos Ambientais	Concentração do Óleo refrigerante
	Composição do Material

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Nota-se que algumas características de qualidade se repetem para diferentes elementos da qualidade exigida, porém na etapa da construção da HoQ em que serão correlacionadas as características de qualidade com a qualidade exigida, será feito em formato de matriz, portanto não contemplando as repetições.

Concluídas as etapas para obter os elementos da qualidade exigida, aplicado o grau de importância de cada um desses elementos e definidas as características de qualidade, é iniciado o passo (6) que consiste em elaborar a matriz de relacionamento e estabelecer as correlações.

Nesta etapa a construção da matriz HoQ é iniciada seguindo o modelo padrão apresentado na literatura, onde os elementos da qualidade exigida (voz do cliente) são postos em linhas no lado esquerdo, logo à frente dos elementos da qualidade exigida tem uma coluna

específica com o grau de importância e em colunas subsequentes as características de qualidade conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: Matriz de Relacionamento e Correlações

			Importância (1 - 5)	Diâmetro de montagem do disco	Posição do furo de válvula	Tamanho dos flanges	Rolos de Laminção (acabamento superficial e perfil)	Recartilho (posição, largura e profundidade)	Batimento Radial e Axial do aro	Espessura dos raios T1 e T2	Calibração do aro	Concentração do óleo refrigerante	Composição do material	Largura do aro	Alinhamento do barrilete	Diâmetro do assento do pneu	Inclinação da região de montagem do disco	Gravação do aro correta e na posição especificada	
Cliente Interno	Boa Montabilidade entre aro e disco	5	●	□	△		□	□			●			△				●	
	Aro isento de marcas, trincas e rebarba	3			□	●	●				□	□	△		□				
	Aro isento de sujeidade	2				△						●			△				
	Identificação correta do aro	3																	●
	Sem vibração	5				●			●		●					●			
Cliente Externo	Requisitos de segurança	5	●	△	□	□	□	●	●	●	□		●	□	△	●	●		
	Montabilidade entre aro e pneu	5			△	△					●						●		
	Montabilidade entre aro e contrapeso	3			●									□					
	Durabilidade	4	□	□	△	□	□		●	●	□		●					●	
	Requisitos ambientais	3										●	□						
Prioridade	Valor Absoluto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Valor Relativo		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo próprio

Seguindo o critério formulado em forma de perguntas, a equipe multifuncional estabeleceu as correlações entre a Qualidade Exigida (QE) e a Característica de Qualidade (CQ), utilizando-se da tabela de intensidade seguindo a simbologia indicada e os valores sugeridos da seguinte forma: 9 para forte correlação, 3 para correlação média, 1 para correlação fraca e vazio para nenhuma correlação. Foi decidido pela equipe que após cada integrante estipular o valor de uma correlação entre a QE e a CQ, foi atribuído na matriz de relacionamento o valor escolhido pela maioria, lembrando que a equipe formada neste trabalho era de 7 integrantes, com isso descartando a possibilidade de empate.

Após finalizada a matriz de relacionamento e estabelecidas as correlações, é a vez de realizar o passo (7), a matriz de correlações das CQs, onde o objetivo é apontar as CQs que possuem correlações positivas e as CQs que possuem correlações negativas.

O passo (8) priorização das CQs, consiste na etapa em que os valores dos pesos absoluto e relativo são calculados para cada CQ e, aquelas que apresentarem maiores pontuações representam maior impacto na qualidade exigida, ou seja, nas necessidades e requisitos do cliente.

A Figura 13 é uma representação genérica da matriz de qualidade e, na sequência tem-se as equações e fórmulas utilizadas para cálculo e obtenção dos valores dos pesos absolutos e relativos das características de qualidade.

Figura 13: Representação genérica da matriz de qualidade.

<p>QE = Qualidade exigida CQ = Característica da qualidade IQE = Importância da qualidade exigida PaC = Peso absoluto da característica de qualidade PrC = Peso relativo da característica de qualidade X_{np} = Correlação entre QE e CQ</p>							
<i>IQE</i>	CQ						
	<i>QE</i>	CQ1	CQ2	CQ3	CQ4	...	CQ ρ
<i>IQE₁</i>	<i>QE₁</i>	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	...	$X_{1\rho}$
<i>IQE₂</i>	<i>QE₂</i>	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	...	$X_{2\rho}$
<i>IQE₃</i>	<i>QE₃</i>	X_{31}	X_{23}	X_{33}	X_{34}	...	$X_{3\rho}$
<i>IQE₄</i>	<i>QE₄</i>	X_{41}	X_{24}	X_{44}	X_{44}	...	$X_{4\rho}$
...	
<i>IQE_m</i>	<i>QE_n</i>	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	X_{n4}	...	$X_{n\rho}$
Valor do peso Absoluto		PaC1	PaC2	PaC3	PaC4	...	PaCn
Valor do peso relativo		PrC1	PrC2	PrC3	PrC4	...	PrCn

Fonte: Adaptado de Lin Chih Cheng et. al. (2010).

As Qualidades Exigidas (QE) podem variar de 1 a n . As Características da Qualidade (CQ) podem variar de 1 a p . E as Importâncias das Qualidades Exigidas (IQE) podem variar de 1 a m . A matriz formada pelos itens de qualidades exigidas e de características da qualidade é formada por n linhas e p colunas, e as correlações desses itens são descritas em

termos de elementos X_{ij} , onde i se refere às QE (linhas $i = 1, 2, 3 \dots n$) e j refere-se às CQ (colunas $j = 1, 2, 3 \dots p$).

Conforme descrito anteriormente, para obtenção do peso absoluto dos itens de características da qualidade realiza-se então o seguinte cálculo:

Equação (1)

$$PaC1 = (IQE1.X11) + (IQE2.X21) + (IQE3.X31) + (IQE4.X41) \dots (IQEm.Xn1) \quad (1)$$

Ou Equação (2)

$$PaC1 = \sum_{i=1}^n IQEi \times Xi1 \quad (2)$$

Assim, todos os pesos absolutos de cada item de característica da qualidade podem ser definidos como:

Equação (3)

$$PaCj = \sum_{i=1}^n IQEi \cdot Xij \quad (3)$$

Para o cálculo dos pesos relativos das características de qualidade, é utilizada a seguinte fórmula:

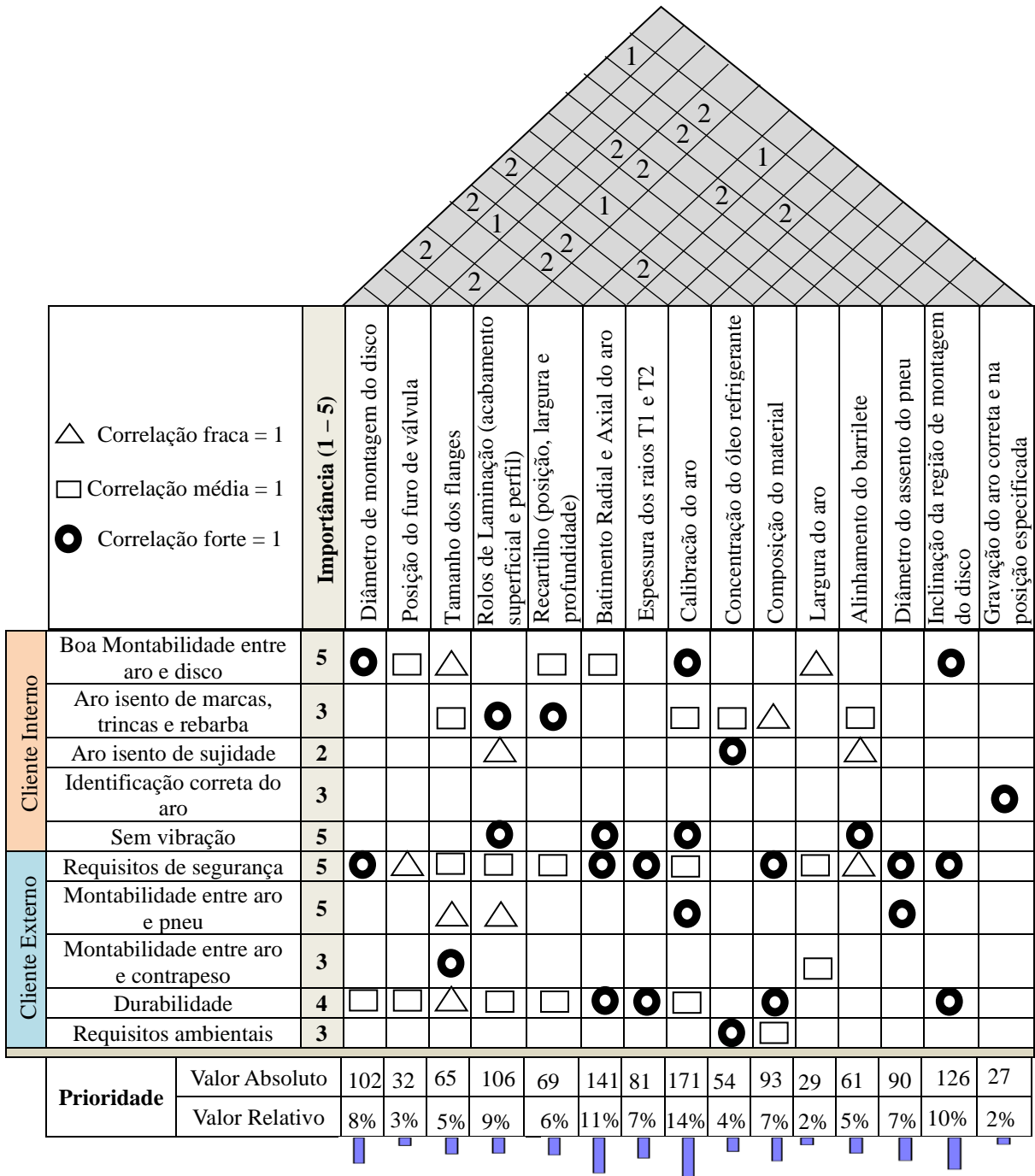
$$Peso\ relativo = \frac{Peso\ absoluto}{(soma\ de\ todos\ os\ pesos\ absolutos)}$$

Ou Equação (4)

$$PrCj = \frac{PaCj}{\sum PaC} \quad (4)$$

A matriz HoQ preenchida com todas as correlações é ilustrada na Figura 14, observa-se que os valores dos pesos absoluto e relativo de cada características de qualidade aparecem na parte inferior da matriz HoQ, pois ela já contém as equações e fórmulas para os cálculos, uma vez que sua construção pode ser feita com uso de softwares como por exemplo o Excel.

Figura 14: Matriz HoQ concluída.

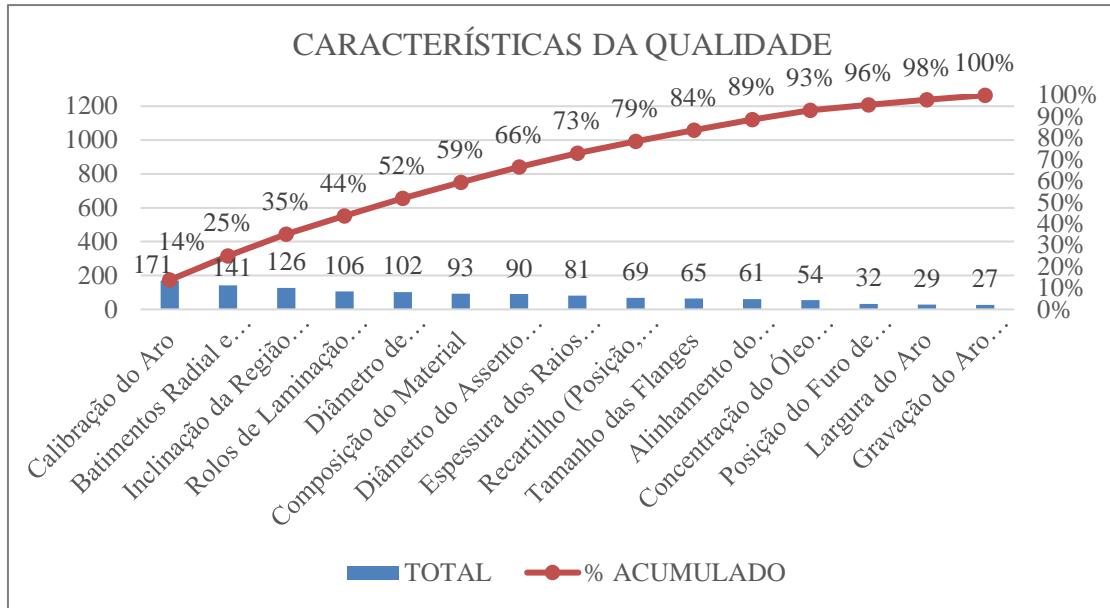


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Uma vez que a matriz HoQ está concluída, a equipe analisou os resultados e a partir disso priorizou-se os itens de características de qualidade que apresentaram maiores valores para que as ações de melhorias sejam propostas.

Com o objetivo de organizar os resultados obtidos na matriz HoQ e permitir uma melhor visualização dos valores encontrados dos pesos absolutos e relativos, um gráfico de Pareto das características de qualidade foi construído conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15: Gráfico de Pareto para os itens das características da qualidade

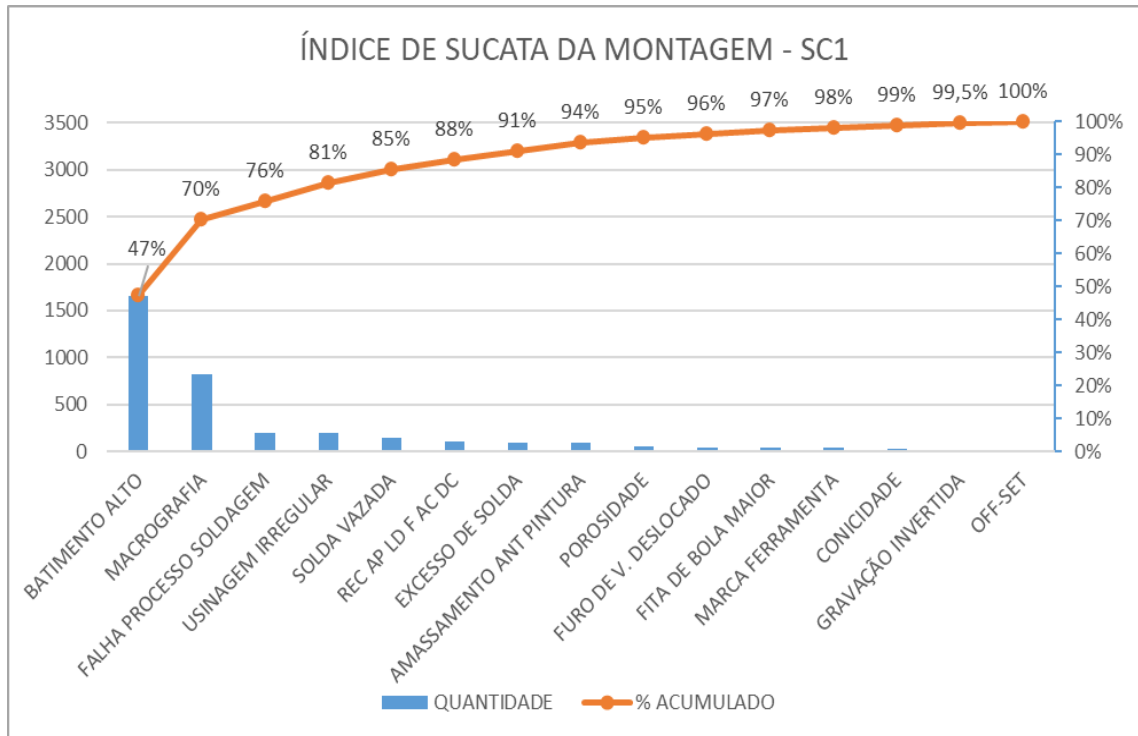


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De acordo com os resultados apresentados no gráfico, as quatro características da qualidade com maiores valores absoluto e relativo são: Calibração do aro com valor absoluto de 171 e valor relativo de 14%, Batimentos Radial e Axial do Aro que apresentou valor absoluto de 141 e valor relativo de 11%, Inclinação da Região do Diâmetro de Montagem do Disco que teve o valor absoluto de 126 e valor relativo de 10% e Rolos de Laminação com valor absoluto de 106 e valor relativo de 9%. Estas quatro características juntas totalizam 44% das correlações e estão diretamente ligadas entre si.

Na Figura 16 é mostrado um gráfico do indicador de sucata da linha de montagem referente ao período de um ano (janeiro/2022 a dezembro/2022), nele é possível identificar que o maior índice de reprovação com 47% do total é justamente por motivo de batimento alto, corroborando com o resultado da matriz HoQ elaborada para o aro.

Figura 16: Gráfico do indicador de sucata da linha de Montagem SC1



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Diante dos dados apresentados pode-se afirmar que a matriz HoQ mostrou com precisão que as ações de melhorias na linha de laminação de aros devem ser realizadas com foco nas quatro características que apresentaram maiores valores, uma vez que contribuem para aumentar o índice de sucata da linha de montagem por motivo de batimentos acima do aceitável.

3.4.3 A característica de produto “Batimento”

A característica de produto batimento atrelada ao produto roda, nada mais é que a excentricidade da peça nos sentidos radial e lateral (axial) em relação a linha de centro que representa o eixo de montagem no veículo. Esta característica é classificada como característica crítica ou desejável no produto pelo cliente, uma vez que para seu não atendimento a especificação pode impactar na percepção do usuário final, através de vibração ao conduzir o veículo ou até mesmo desgaste prematuro de outros componentes tais como pneus e itens da suspensão.

A roda para veículos comerciais, citada neste trabalho, é composta por dois componentes denominados aro e disco. Cada componente é produzido em células de fabricação diferentes e posteriormente enviados para linha de montagem da roda, onde o

componente disco é inserido no componente aro e efetua-se o processo de soldagem conforme ilustrado na Figura 17.

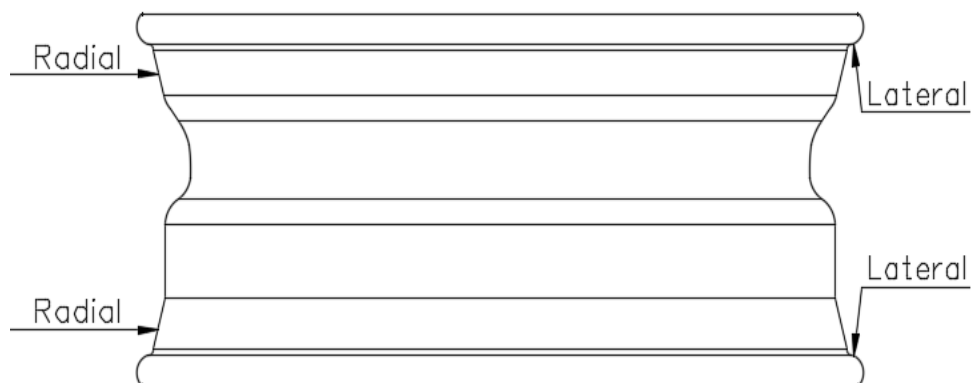
Figura 17: Sequência de montagem da roda



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O batimento da roda pode ser afetado de três formas: (1) por problemas no processo de montagem, (2) o componente disco apresenta batimento acima do especificado e (3) o componente aro apresenta batimento acima do especificado. Nas células de produção de cada um, possuem equipamentos para controle da característica, no caso do componente aro o controle é feito em quatro pontos, ditos radiais, que se dá no sentido do raio, evidenciando a ovalização da roda, e laterais (axiais), no sentido do flange do aro, onde se verifica a altura da mesma durante toda sua extensão. Os pontos a serem controlados são mostrados na Figura 18.

Figura 18: Pontos de controle dos batimentos do aro



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.4.4 Elaboração do plano de ações

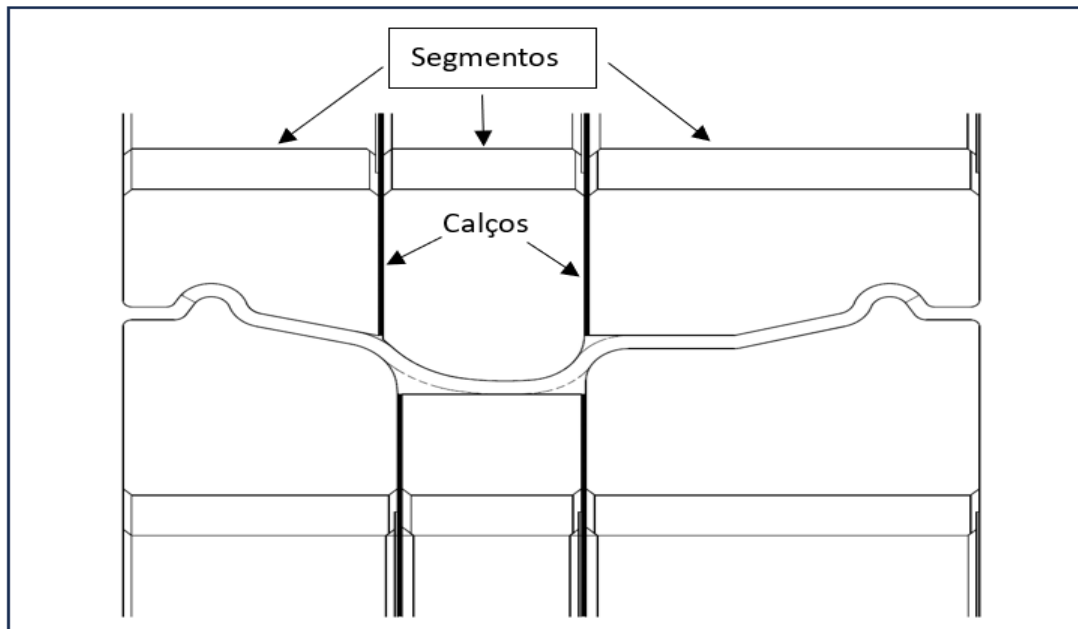
Com base nos resultados da matriz HoQ, o time elaborou um plano de ação, com uma proposta de melhoria que abrangeu as quatro características da qualidade que apresentaram

maior impacto nos requisitos do cliente: Calibração do Aro, Batimentos Radial e Axial do Aro, Inclinação da Região do Diâmetro de Montagem do Disco e Rolos de Laminação.

3.4.5 Proposta

Os rolos de laminação são um dos principais itens para o processo de fabricação de aros, pois são eles que formam o perfil definido no desenho de produto. Atualmente o projeto destes rolos tem o conceito de ferramenta segmentada e com a utilização de calços entres os segmentos conforme ilustrado na Figura 19.

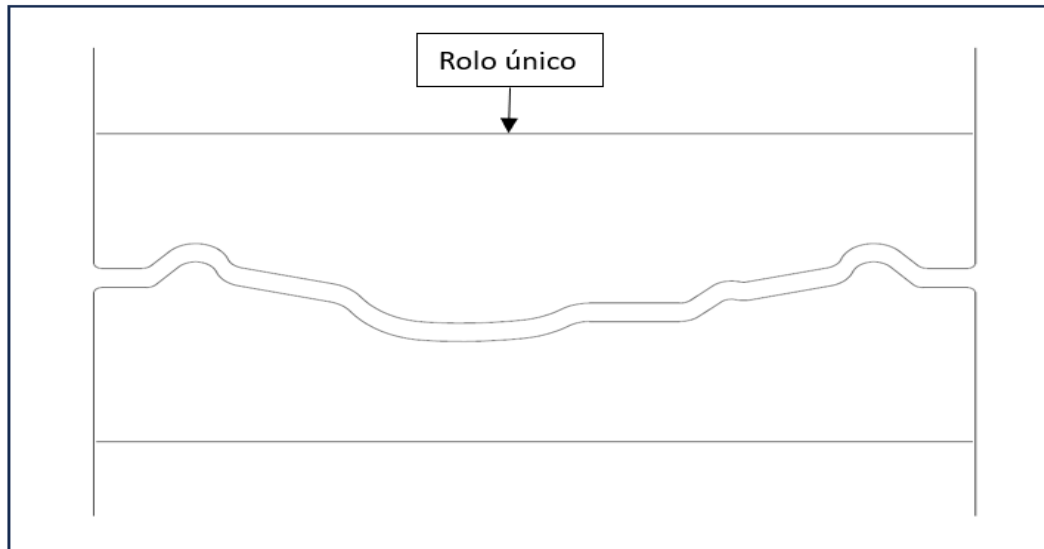
Figura 19: Rolos segmentados



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A proposta apresentada pelo time consistiu em alterar este conceito de rolo segmentado para ferramenta inteiriça, ou seja, um rolo único sem segmentos e sem calços, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Rolos únicos (novo conceito)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A definição desta proposta foi fundamentada no conhecimento técnico da equipe e em estudos realizados anteriormente que mostraram as fragilidades da utilização dos rolos segmentados e calços entre os segmentos. O Quadro 4 ilustra uma lista destas fragilidades.

Quadro 4: Fragilidades do rolo segmentado

ATIVIDADE	FRAGILIDADE
Set-up	<p>Montar rolos na máquina faltando calço</p> <p>Montar rolos na máquina com diferentes calços</p> <p>Montar rolos na máquina com calços danificados</p> <p>Montar rolos na máquina com excesso de calços</p> <p>Montar rolos na máquina com segmentos invertidos</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Qualquer uma destas fragilidades afetam diretamente as quatro características da qualidade de maior pontuação mostradas no gráfico da seção 3.4.2 e por consequência o batimento do aro, principal motivo de sucata da linha de montagem.

Em função da proposta apresentada, foram planejadas as seguintes ações:

1. Fazer o projeto do conjunto de ferramental (novo conceito) para o produto “J”;
2. Construir o conjunto de ferramental conforme projeto;
3. Realizar *tryout* de validação do ferramental;
4. Iniciar produção em massa.

3.5 IMPLEMENTAR AÇÕES

Segundo Thiollent (2007), a ação corresponde ao que precisa ser feito (ou transformado) para realizar a solução de um determinado problema. Para Coughlan e Coughlan (2002), esta tarefa envolve realizar as mudanças desejadas e seguir os planos de forma colaborativa com relevantes membros-chaves da organização.

A proposta apresentada foi aprovada pela gerência, deu-se então início ao projeto oficial de um jogo de ferramental (rolos não segmentados), a aquisição do material e na sequência a construção. Foi elaborada também uma tabela com a quantidade de ferramentas segmentadas a serem substituídas, a ordem de priorização de construção foi definida com base no volume de produção de cada produto. Porém por se tratar de um alto investimento, foi traçado um plano a longo prazo para conclusão de todas as ferramentas listadas. Na Tabela 2 contém as informações do Status de cada ferramental de acordo com a priorização definida.

Tabela 2: Ferramentas a serem construídas

FERRAMENTAL	CONSTRUÇÃO	TRY-OUT	PRODUÇÃO
ARO 1	OK	OK	OK
ARO 2	OK	OK	OK
ARO 3	OK	Programado	Após <i>try-out</i> aprovado
ARO 4	Em andamento	Previsão 12/23	Após <i>try-out</i> aprovado
ARO 5	Previsão 02/24	Previsão 03/24	Após <i>try-out</i> aprovado
ARO 6	Previsão 04/24	Previsão 05/24	Após <i>try-out</i> aprovado

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAR RESULTADOS E GERAR RELATÓRIOS

Coughlan e Coughlan (2002) consideram que a avaliação envolve uma reflexão sobre os resultados da ação, tanto intencionais quanto não intencionais, uma revisão do processo para que o próximo ciclo de planejamento e ação possa beneficiar-se do ciclo completado. A avaliação é a chave para o aprendizado. Sem ela as ações são implementadas ao acaso, independente de sucesso ou fracasso, e os erros se proliferam, gerando um aumento da ineficácia e da frustração.

De acordo com a Tabela 2 dois produtos foram finalizados e serviram de base para avaliação dos resultados, comparações com os critérios (indicadores) definidos na fase de coleta de dados, antes e depois da intervenção do pesquisador, foram feitas para um estudo comparativo. Na Tabela 3 estão ilustrados os valores referentes aos batimentos do aro, onde pode-se constatar os ganhos obtidos através do indicador (PPM) que controla a quantidade peças reprovadas.

Tabela 3: Resultados dos batimentos do aro “Antes e Depois” da melhoria

INFORMAÇÕES		Batimentos – ARO 1				Batimentos – ARO 2			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Antes	Amostras	367	367	367	367	75	75	75	75
	Reprovados	7	25	2	31	0	6	0	20
	PPM	19074	68120	5450	84469	0	80000	0	266667
Depois	Amostras	249	249	249	249	57	57	57	57
	Reprovados	4	9	1	2	0	3	0	1
	PPM	16064	36145	4016	8032	0	52632	0	17544
Redução do PPM		15,8%	46,9%	26,3%	90,5%	0%	34,2%	0%	93,4%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1.1 Índice de PPM

Grandes montadoras medem as não conformidades do processo através do termo PPM (peças por milhão). A forma de calcular o PPM é através da divisão da quantidade de peças defeituosas pelo número de peças fabricadas; o valor obtido deve ser multiplicado por 1 milhão, conforme a Equação (5):

$$PPM = \left(\frac{\text{número de peças defeituosas}}{\text{número de peças produzidas}} \right) * 1.000.000 \quad (5)$$

Nota-se que os batimentos “B” e “D” de cada produto avaliado apresentaram maior índice de reprovação, porém foi constatado também que a maior redução de PPM foi nestes dois batimentos, apresentando uma redução de 46,9% e 90,5% respectivamente para o aro 1 e de 34,2% e 93,4% respectivamente para o aro 2. Portanto pode-se afirmar que a melhoria implementada apresentou resultados positivos na linha de fabricação de aros.

Seguindo as análises dos resultados, foram coletados os dados de reprovação por batimento na linha de montagem, referente as rodas que utilizam os aros 1 e 2 para saber se houve impacto positivo. Isso está ilustrado na Tabela 4 onde são mostrados valores de três (3) rodas (A, B e C) que utilizam o aro 1 e de uma (1) roda (A) que utiliza o aro 2.

Tabela 4: Resultados dos batimentos das rodas “Antes e Depois” da melhoria

INFORMAÇÕES		ARO 1			ARO 2
		Roda A	Roda B	Roda C	Roda A
Antes	Amostras	57027	50735	4017	18816
	Reprovados	102	44	0	36
	PPM	1789	867	0	1913
Depois	Amostras	58916	43710	833	17667
	Reprovados	26	14	0	19
	PPM	441	320	0	1075
Redução do PPM		75,3%	63,1%	0%	43,8%

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A exemplo do aro, na linha de montagem também foi obtido um resultado positivo indicado pela redução do PPM de reprovação de rodas por batimento alto. Das três (3) rodas que utilizam o aro 1, duas delas “A” e “B” apresentaram uma redução no índice de reprovação de 75,3% e 63,1% respectivamente, no caso da roda “C” não houve mudança no índice, isso pode estar ligado o número menor de peças produzidas. Com relação a roda “A” que utiliza o aro 1 a redução do índice de reprovação foi de 43,8%.

5 CONCLUSÓES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iniciativa deste trabalho tinha como principal objetivo aplicar o método QFD na linha de produção de aros para rodas de veículos comerciais, visando melhorar a qualidade do mesmo e contribuir na redução do indicador de refugo da linha de montagem de rodas. De acordo com os resultados obtidos nos aros que foram contemplados com a melhoria proposta, conclui-se que:

O uso do QFD representou um marco significativo em nossos esforços para melhorar a qualidade dos aros e reduzir o índice de refugo em nossa linha de montagem de rodas.

O primeiro passo do QFD envolveu a coleta de informações detalhadas sobre as necessidades e requisitos dos clientes em relação aos aros. Esse processo revelou insights valiosos sobre os atributos que mais importam para nossos clientes, incluindo a durabilidade, confiabilidade, estética e conforto. Essa etapa nos ajudou a estabelecer uma base sólida para determinar as características técnicas de engenharia.

A próxima fase do QFD envolveu a identificação das correlações entre as necessidades do cliente e as características técnicas de engenharia. Isso nos permitiu priorizar as características técnicas de engenharia que tinham o maior impacto na satisfação do cliente.

A análise do processo de fabricação dos aros à luz dos requisitos priorizados permitiu a identificação de pontos críticos de melhoria, tendo como principal ponto a característica “Batimentos Radial e Axial”, dessa forma gerando a elaboração de um plano de ação com foco nos batimentos. Como resultado, houve uma melhora na qualidade do aro, através da redução significativa do indicador de PPM dos batimentos e por consequência reduzindo também o índice de refugo da linha de montagem de rodas.

Além da melhoria na qualidade do aro e redução do refugo na linha de montagem de rodas, vale ressaltar que uma das principais vantagens do QFD foi a integração eficaz de diferentes departamentos, como engenharia, produção e controle de qualidade. Essa colaboração resultou em uma compreensão compartilhada dos objetivos de qualidade e na definição de metas mensuráveis para cada requisito de engenharia.

Em conclusão, a aplicação do Método QFD na linha de fabricação de aros para rodas de veículos comerciais não apenas permitiu melhorar a eficiência e a qualidade do nosso processo de produção, mas principalmente que atendêssemos às expectativas dos clientes, mantendo nosso compromisso com a excelência.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O resultado alcançado com este estudo de pesquisa, envolvendo a aplicação do método QFD para melhorar a qualidade do aro, abre espaço para realização e continuidade de trabalhos relacionados com o tema, seja com relação ao uso do método QFD, seja em melhorias nos processos produtivos da companhia.

Durante a execução deste trabalho, foram observados alguns aspectos que, sem dúvida, se aprofundados, trariam grandes contribuições científicas. Por limitações de tempo e sem querer desvirtuar o trabalho de sua proposta original, estes aspectos não foram abordados, mas são deixados aqui como sugestões para temas de trabalhos futuros.

- 1- Uma vez que a roda é composta pelos componentes aro e disco, uma sugestão é aplicar o método QFD no disco, para identificar oportunidades de melhoria dele, visando reduzir ainda mais o índice de refugo da linha de montagem.
- 2 - A aplicação prática foi realizada apenas em uma das matrizes propostas pelo método QFD. No entanto, seria conveniente avaliar a extrapolação da análise de um produto, utilizando-se das quatro matrizes que compõe o método QFD.
- 3 - Neste trabalho foi utilizado como método de priorização de avaliação dos requisitos de qualidade as pontuações absoluta e relativa obtidas no resultado apresentado após a construção da matriz “Casa da Qualidade”, porém um modelo de priorização mais robusta conciliando métodos de decisão multicritério com ferramentas da qualidade pode ser usado e, com isso robustecer a tomada de decisão para definir planos de ações que atendam as necessidades da companhia num todo.

REFERÊNCIAS

- AKAO, Y. **Introdução ao desdobramento da qualidade da série manual de aplicação do desdobramento da função qualidade**. v. 1. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996. 1 v.
- AKAO, Y. **Quality function deployment: integrating customer requirements into product design**. New York: SteinerBooks, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781003578833>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- ALVARENGA NETTO, C., **Gestão da Qualidade: Aula 12 - QFD – Desdobramento da função qualidade**. Vídeo disponibilizado no Youtube, Canal da UNIVESP, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gVypCOBIHnA>. Acesso em: dez. 2021.
- BERTSCHE, B. **Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability**. Heidelberg: Springer Berlin, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34282-3>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- BONONI, D. F.; POLLI, H. Q. Aplicabilidade da ferramenta FMEA na mitigação de falhas de processos produtivos da agroindústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, p. 513-522, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.888>. Acesso em: 07 fev. 2024.
- CAUCHICK, M. A. P. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, p. 149 – 166, 2012.
- CHENG, L. C. *et al.* **QFD - Planejamento da Qualidade**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1995. 262. v.
- CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. D. R. **QFD: Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. “Pesquisa de ação para gestão de operações”. **International Journal of Operations and Production Management**, Bradford, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>. Acesso em: 17 nov. 2022.
- DEMING, W. E. **A nova economia para a indústria, o governo e a educação**. São Paulo: Qualitymark, 1997.
- EUREKA, W. E.; RYAN, N. E. QFD: **Perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- FERNANDES, J. M. R. **Proposição de Abordagem Integrada de Métodos da Qualidade Baseada no FMEA**. Curitiba: PUCPR, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.
- FIorenzo, F. *et al.* Ordinal aggregation operators to support the engineering characteristic prioritization in QFD. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**,

London, v. 91, p. 4069–4080, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0040-8>. Acesso em: 18 set. 2023.

FRANCESCHINI, F. *et al.* Prioritisation of engineering characteristics in QFD in the case of customer requirements orderings. **International journal of production Research**, London, v. 53, p. 3975-3988, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2014.980457>. Acesso em: 18 set. 2023.

FRANCESCHINI, F.; MAISANO, D.; MASTROGIACOMO, L. Customer requirement prioritization on QFD: a new proposal based on the generalized Yager's algorithm. **Research in Engineering Design**, London, v. 26, p. 171-187, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08982112.2015.1036292>. Acesso em: 18 set. 2023.

GONZALEZ, M. E.; QUESADA, G.; BAHILL, A. T.. Improving product design using quality function deployment: The school furniture case in developing countries. **Quality Engineering**, New York, v. 16, n.1, p. 45 – 56, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/QEN-120020770>. Acesso em: 30 nov. 2023.

HAUSER, J. R.; DON, C. "How Puritan-Bennett used the house of quality". **Sloan Management Review**, Cambridge, v. 34, p. 61 – 70, 1993.

LEWIN, K. Action research and minority problems. **Journal of Social Issues**, Manchester, v.2, p. 34-36, 1946. Disponível em: http://www.fionawangstudio.com/ddcontent/Web/action_research/readings/Lewin_1946_action%20research%20and%20minority%20problems.pdf. Acesso em: 21 jan. 2023.

LI, Y. L.; DU, Y. F.; CHIN, K.S. Determining the importance ratings of customer requirements in quality function deployment based on interval linguistic information. **International Journal of Production Research**, London, v. 56, p. 4692-4708, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1417650>. Acesso em: 10 dez. 2023.

LIU, H. C. *et al.* A new method for quality function deployment with extended prospect theory under hesitant linguistic environment. **IEEE Transactions on Engineering Management**, New York, v. 68, n. 2, p. 442-451, 2021. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/10.1109/TEM.2018.2864103>. Acesso em: 30 nov. 2023.

MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B.; XAVIER, A. F.; CAMPOS, D. F. Action research in production engineering: a structure proposal for its conduction. **Produção**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2012. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056>. Acesso em: 02 nov. 2023.

MELO FILHO, L. D. R.; CHENG, L. C. QFD na garantia da qualidade do produto durante seu desenvolvimento: caso em uma empresa de materiais. **Production**, Belo Horizonte, vol. 17, p. 604-624, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132007000300015>. Acesso em: 27 mar. 2023.

OHFUJI, T., ONO, M. e AKAO, Y. **Métodos de desdobramento da qualidade**: Série manual

de aplicação do desdobramento da função qualidade, vol. 2. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1997. 2 v.

OLIVEIRA, L. M. V. *et al.* Aplicação do QFD como uma ferramenta de planejamento da qualidade: estudo de caso na prestação de serviço de uma concessionária. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 30., 2010, São Paulo. **Anais [...]**... São Paulo: ABEPRO, 2010.

PÊGO, F. F. **Aplicação da metodologia QFD no transporte coletivo urbano de passageiros**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

RODRIGUES, R. B.; SOUZA, L. A. S. Aplicação do desdobramento da função qualidade (QFD) em uma empresa de gestão de serviços. **Revista Campo do Saber**, João Pessoa, v. 2 n. 2, p. 39 – 68, jul./dez. de 2016. ISSN 2447 - 5 017

ROSNANI, G. *et al.* The integration of kano's model and quality function deployment: A case study for design: A comprehensive review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Yogyakarta, v. 319, n. 1, p. 012043, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/319/1/012043/pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

ROSNANI, G.; MUHAMMAD, R. S. Integration of quality function deployment (QFD) and value engineering in improving the quality of product: A literature review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Medan, v. 1003, n. 1, p. 012002, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1003/1/012002>. Acesso em: 18 set. 2023.

ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. **Management research news**, Leeds, v. 27, n. 6, p. 31-39, 2004. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01409170410784185/full/html>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SANTOS, T. C. *et al.* Aplicação do FMEA (Failure mode and effect analysis) em um comedouro automático para pets. **Gestão da Produção em Foco**, Belo Horizonte, v. 36, p. 19 – 27, 2019.

SHIN, J. H.; KIRITSIS, D.; XIROUCHAKIS, P. Design modification supporting method based on product usage data in closed-loop PLM. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, London, v. 28, p. 551-568, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900866>. Acesso em: 22 set. 2023.

SIRELI, Y.; KAUFFMANN, P.; OZAN, E. Integration of Kano's model into QFD for multiple product design. **IEEE Transactions on Engineering Management**, New York, v. 54, p. 380-390, 2007. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/doi10.1109/TEM.2007.893990>. Acesso em: 29 mar. 2023.

TAN, XG.; XIONG, W. Improving product quality based on QFD and FMEA theory. *In: PROGNOSTICS AND HEALTH MANAGEMENT CONFERENCE*, 2020, p. 274-282, Besancon. **Proceedings** [...] Besancon: IEEE Xplore, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/doi/10.1109/PHM-Besancon49106.2020.00053>. Acesso em: 18 set. 2023.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 15 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

THIOLLENT, M. Perspectivas da metodologia de pesquisa participativa e de pesquisa-ação na elaboração de projetos sociais e solidários. **Tecnologia e desenvolvimento social e solidário**, Porto Alegre : Editora UFRGS, p. 172-189, 2005.

VASCONCELLOS, L. *et al.* **Metodologia de pesquisa em administração**: uma abordagem prática. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2012. Disponível em: <http://biblioteca.asav.org.br/vinculos/000045/000045b4.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2023.

WURJANINGRUM, F. Design of education service quality improvement of Airlangga university by applying quality function deployment (QFD) model. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE SYSTEMS AND SERVICE MANAGEMENT*, 5., p. 1- 6, 2008. **Proceedings** [...] [s.l.]: IEEE Xplore, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/doi/10.1109/ICSSSM.2008.4598543>. Acesso em: 08 out. 2023.

YAN, H. B.; MA, T. A group decision-making approach to uncertain quality function deployment based on fuzzy preference relation and fuzzy majority. **European Journal of Operational Research**, Amsterdã, v. 241, p. 815-829, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221714007383>. Acesso em: 25 fev. 2024.

YAN, Z.; TU, G.; HE, J. Integrated product and process development of clutch friction material using quality function deployment processes. **MATEC Web Conference**, Les Ulis, v. 207, p. 1 - 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201820703025>. Acesso em: dez. 2022.

YANG, Q.; YU, S.; SEKHARI, A. A modular eco-design method for life cycle engineering based on redesign risk control. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 56, p. 1215-1233, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-011-3246-1>. Acesso em: 12 out. 2023.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHENG, L.Y.; CHIN, K. S. QFD based optimal process quality planning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 26, p. 831-841, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-003-2050-y>. Acesso em: 10 dez. 2023.

APÊNDICE A – Questionário

QUESTIONÁRIO – CLIENTE INTERNO

Função: Supervisora de produção

Linha de Produção: Linha de montagem de rodas para veículos comerciais pesados

- 1) Quais as características críticas estão definidas no projeto?
- 2) Quais as características desejáveis estão definidas no projeto?
- 3) Nos KPIs da fábrica qual é o mais afetado pela linha de montagem, que tem contribuição do componente aro?
- 4) Quais os principais problemas na linha de montagem estão relacionados ao aspecto visual da roda, gerados pelo componente aro?
- 5) Quais os principais problemas na linha de montagem estão relacionados a união entre os componentes aro e disco?
- 6) Dentre as reclamações do cliente externo, quais estão relacionadas a problemas de montabilidade, originárias do componente aro?