

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALANA CORSI

**GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA:
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM MODELO BASEADO EM ANÁLISE
DE DADOS E QUALIDADE 4.0**

PONTA GROSSA

2024

ALANA CORSI

**GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA:
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM MODELO BASEADO EM ANÁLISE
DE DADOS E QUALIDADE 4.0**

**Warranty Cost Management in the Automotive Industry: Development and
Application of a Model Based on Data Analysis and Quality 4.0**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Regina Negri Pagani.

Coorientador: Prof. Dr. João Luiz Kovaleski.

PONTA GROSSA

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



ALANA CORSI

GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM MODELO BASEADO EM ANÁLISE DE DADOS E QUALIDADE 4.0

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 16 de Fevereiro de 2024

Dra. Regina Negri Pagani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Cassiano Moro Piekarski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Edwin Vladimir Cardoza Galdamez, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Dra. Franciely Velozo Aragao, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Dr. Joao Luiz Kovaleski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Joseane Pontes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/02/2024.

Esta obra é dedicada a Deus, à minha família e amigos, à minha orientadora, e a todos aqueles cujas contribuições foram fundamentais para o meu percurso até este momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar saúde e força para que meu sonho de me tornar doutora fosse concretizado.

Agradeço a minha querida orientadora Profa. Dra. Regina Negri Pagani, pela amizade, apoio, conhecimentos compartilhados que me guiaram nesta trajetória.

Agradeço ao meu querido coorientador Prof. Dr. João Luiz Kovaleski, por me acolher no grupo de pesquisa de Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT) e por todas as orientações e suporte.

Agradeço a minha família, em especial a minha Mãe, Angela M. Janunzzi! Mãe, sem você eu certamente não alcançaria metade dos meus sonhos!

Agradeço também ao meu namorado, que me acompanhou e apoiou durante toda a trajetória, sendo um grande incentivador dos meus sonhos.

Aos meus amigos, que me acompanharam e tornaram a caminhada mais leve.

Agradeço aos colegas da Renault, por todo conhecimento, apoio e incentivo para que a pesquisa fosse realizada.

À Secretaria do Curso e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da UTFPR, em especial ao Tiago C. Oliveira por todo suporte.

A todos os professores que participaram da minha vida acadêmica. Vocês são os grandes incentivadores da ciência e da pesquisa.

Agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Enfim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – 001, pelo auxílio financeiro para a elaboração da pesquisa.

“A persistência é o caminho do êxito”
(Charles Chaplin).

RESUMO

A oferta de garantia estabelece diretrizes e serve como indicador indireto de qualidade da empresa, configurando-se também como uma importante estratégia de Marketing que pode alavancar as vendas. A garantia, emitida no formato de um contrato entre as partes vendedora e compradora, tem a capacidade de aumentar a satisfação do consumidor e sua confiança no produto que está sendo adquirido. Porém, quando mal gerenciada, pode gerar custos e riscos adicionais ao fabricante. Desta forma, é necessário um bom planejamento, controle e gestão de sua aplicação e dos custos decorrentes. Isto pode ser feito por meio de técnicas, ferramentas, ou com o auxílio de um modelo de gestão. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo propor um modelo de gestão dos custos de garantia focado na indústria automobilística. Para o desenvolvimento do modelo, foi realizada uma pesquisa estruturada em três etapas. A primeira delas foi uma revisão sistemática de literatura com o intuito de identificar outros modelos e ferramentas de gestão do custo de garantia. A partir disso, realizou-se a segunda etapa da pesquisa, que foi o desenvolvimento do modelo, englobando quatro macro etapas: (1) Caracterizar o Problema; (2) Planejar a Solução; (3) Analisar e Automatizar Solução; e (4) Mensurar e Reportar. Com o modelo definido, realizou-se a terceira etapa, que foi a aplicação do mesmo na Renault Brasil, na planta situada no estado do Paraná. A partir da aplicação do modelo foi possível propor uma solução a um problema de gestão da garantia, definido pela organização, detectando concentração de custos de garantia em concessionárias prestadoras de serviço para plantas situadas na região da América Latina (LATAM). Os procedimentos propostos pelo modelo permitiram desenvolver duas formas de solucionar o problema, que, após comparação dos resultados, definiu-se o uso daquela que se mostrou mais eficaz na tratativa do problema: a análise de predição baseada em *Machine Learning* (ML). A aplicação do modelo comprovou a efetividade do mesmo, resolvendo o problema de garantia na indústria automobilística em questão, apoiando sua meta global de redução de custos da garantia. Além de proporcionar uma aplicação prática imediata para um problema na indústria automobilística, esta pesquisa preenche uma importante lacuna na literatura relacionada à Gestão da Garantia, um tema muito estratégico e relevante e que até então não havia sido tratado na literatura considerando-se a inovação tecnológica proporcionada pelas tecnologias 4.0. Assim, este trabalho é um avanço no sentido de buscar equiparar a inovação tecnológica e aspectos burocráticos de gestão que tratam deste avanço.

Palavras-chave: custos de garantia; modelo de gestão da garantia; indústria automobilística; análise de dados; qualidade 4.0; concentração de concessionárias; machine learning; transferência de tecnologia.

ABSTRACT

The guarantee offer establishes guidelines and serves as an indirect indicator of the company's quality, also representing an important Marketing strategy that can boost sales. The guarantee, issued in the form of a contract between the selling and purchasing parties, has the ability to increase consumer satisfaction and confidence in the product being purchased. However, when poorly managed, it can generate additional costs and risks for the manufacturer. Therefore, good planning, control and management of its application and the resulting costs are necessary. This can be done through techniques, tools, or with the help of a management model. Therefore, this research aims to propose a warranty cost management model focused on the automobile industry. To develop the model, a structured research was carried out in three stages. The first of these was a systematic literature review with the aim of identifying other models and tools for managing warranty costs. From this, the second stage of the research was carried out, which was the development of the model, encompassing four macro stages: (1) Characterize the Problem; (2) Plan the Solution; (3) Analyze and Automate Solution; and (4) Measure and Report. With the model defined, the third stage took place, which was its application at Renault Brazil, at the plant located in the state of Paraná. From the application of the model, it was possible to propose a solution to a warranty management problem, defined by the organization, detecting concentration of warranty costs in dealerships providing service to plants located in the Latin American region (LATAM). The procedures proposed by the model allowed the development of two ways of solving the problem, which, after comparing the results, decided to use the one that proved to be more effective in dealing with the problem: prediction analysis based on Machine Learning (ML). The application of the model proved its effectiveness, solving the warranty problem in the automobile industry in question, supporting its global goal of reducing warranty costs. In addition to providing an immediate practical application for a problem in the automobile industry, this research fills an important gap in the literature related to Warranty Management, a very strategic and relevant topic that until then had not been addressed in the literature considering technological innovation. provided by 4.0 technologies. Thus, this work is an advance in the sense of seeking to equate technological innovation and bureaucratic aspects of management that deal with this advance.

Keywords: warranty costs; warranty management model; automotive industry; data analysis; quality 4.0; dealer concentration; machine learning; technology transfer.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Contribuições da pesquisa | 20 |
| Figura 2 – Buscas para comprovar a originalidade da pesquisa | 21 |
| Figura 3 – Estrutura do Trabalho..... | 25 |
| Figura 4 – Classificação da Pesquisa | 27 |
| Figura 5 – Procedimentos para a proposta do modelo..... | 28 |
| Figura 6 – Procedimentos para definição do portfólio de artigos..... | 31 |
| Figura 7 – Procedimentos para análise do portfólio de artigos..... | 33 |
| Figura 8 – Evolução das eras da qualidade | 39 |
| Figura 9 – <i>EFQM Model</i> | 46 |
| Figura 10 – <i>TQM in the framework of the industry 4.0 model</i> | 47 |
| Figura 11 – Quality 4.0 framework combining IT and OT through digital transformation | 48 |
| Figura 12 – LNS research quality 4.0 model | 49 |
| Figura 13 – <i>Quality 4.0 conceptual framework</i> | 51 |
| Figura 14 – Método MASP em relação ao PDCA..... | 52 |
| Figura 15 – Relação dos métodos PDCA, MASP e DMAIC | 54 |
| Figura 16 – Custos da Qualidade..... | 56 |
| Figura 17 – Vantagens e desvantagens da garantia na visão dos compradores e vendedores..... | 60 |
| Figura 18 – Políticas de Garantia | 62 |
| Figura 19 – Modelo para gestão do custo de garantia | 68 |
| Figura 20 – Política de garantia bidimensional retangular..... | 70 |
| Figura 21 – Resumo do processo e fatores da garantia..... | 73 |
| Figura 22 – Medidas estatísticas..... | 75 |
| Figura 23 – Dados de garantia armazenados por fonte | 80 |
| Figura 24 – Ano de publicação dos artigos | 86 |
| Figura 25 – País do primeiro autor | 86 |
| Figura 26 – Temas centrais no portfólio de artigos | 87 |
| Figura 27 – Modelo conceitual dos parâmetros da garantia..... | 93 |
| Figura 28 – WMM 4.0 com foco na indústria automobilística | 99 |
| Figura 29 – Dimensões para caracterização da política de garantia..... | 101 |
| Figura 30 – Canvas da Caracterização do Problema..... | 105 |
| Figura 31 – Tipos de análise para cada objetivo | 106 |
| Figura 32 – Ações para extração dos dados | 107 |
| Figura 33 – Etapas de pré-processamento dos dados..... | 111 |
| Figura 34 – Procedimento para os tipos de análise | 113 |
| Figura 35 – Procedimentos para Caracterizar o Problema | 118 |
| Figura 36 – Processo do custo de garantia Renault..... | 120 |
| Figura 37 – EAP com as necessidades de recursos | 126 |
| Figura 38 – Requisitos da solução | 127 |
| Figura 39 – Canvas da Caracterização do Problema..... | 128 |
| Figura 40 – Procedimentos para Planejar a Solução | 129 |
| Figura 41 – Métodos Manual e de ML..... | 130 |
| Figura 42 – Procedimentos para desenvolvimento dos dois métodos | 131 |
| Figura 43 – Parâmetros para coleta dos dados de incidentes do Brasil para agosto de 2023 | 134 |
| Figura 44 – Histograma para normalidade do número de incidentes | 136 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45 – Procedimentos para Analisar e Automatizar a solução | 138 |
| Figura 46 – Procedimentos de pré-processamento dos dados | 140 |
| Figura 47 – Pós agrupamento dos dados | 141 |
| Figura 48 – Código para o cálculo das métricas | 142 |
| Figura 49 – Procedimento para cálculo dos quartis 1 e 3, IQR e <i>Outlier</i> por Projeto | 143 |
| Figura 50 – Cálculo dos quartis 1 e 3, IQR e <i>Outlier</i> por Projeto..... | 143 |
| Figura 51 – Condicional para detecção de concentração do método manual | 144 |
| Figura 52 – Resultados das detecções Brasil para agosto de 2023..... | 144 |
| Figura 53 – Resultados LATAM do método manual para agosto de 20233 | 145 |
| Figura 54 – Comparação dos resultados dos métodos manual e ML | 148 |
| Figura 55 – Procedimentos para Mensurar os ganhos e Reportar os resultados.... | 150 |
| Figura 56 – Interface do <i>dashboard</i> | 151 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 – Objetivos dos artigos | 22 |
| Quadro 2 – Buscas em teses e dissertações para comprovar a originalidade | 23 |
| Quadro 3 – Definições da Qualidade 4.0 | 41 |
| Quadro 4 – Tecnologias do setor 4.0 aplicáveis à Q4.0 | 42 |
| Quadro 5 – 11 eixos da Qualidade 4.0 | 49 |
| Quadro 6 – Sete ferramentas da qualidade | 54 |
| Quadro 7 – Composição dos custos diretos da qualidade | 57 |
| Quadro 8 – Descrição dos custos indiretos visíveis e invisíveis | 57 |
| Quadro 9 – Custos de Prevenção, Avaliação e de Falhas | 58 |
| Quadro 10 – Políticas de garantia unidimensional (1D) | 63 |
| Quadro 11 – Políticas de garantia bidimensional (2D) | 64 |
| Quadro 12 – Estratégia em três níveis para priorização de área | 92 |
| Quadro 13 – Métricas adotadas para gestão do custo de garantia | 109 |
| Quadro 14 – Dimensões da política de garantia LATAM | 119 |
| Quadro 15 – Atores-chave do processo e atribuições | 122 |
| Quadro 16 – Códigos de custos da garantia | 122 |
| Quadro 17 – Dados necessários para desenvolver a solução | 133 |
| Quadro 18 – Caracterização dos dados | 134 |
| Quadro 19 – Métricas calculadas | 135 |
| Quadro 20 – Cálculo de Outlier por meio dos métodos 3σ e Boxplot | 137 |
| Quadro 21 – Parâmetros para coleta de dados para análise do Brasil de agosto de 2023 | 139 |
| Quadro 22 – Dados categóricos e numéricos | 146 |
| Quadro 23 – Indicadores de desempenho da solução | 152 |
| Quadro 24 – Indicadores de desempenho da solução para agosto/2023 - Brasil ... | 152 |
| Quadro 25 – Resultados atingidos | 156 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Portfólio final de artigos | 171 |
|---|-----|

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Problema de Pesquisa | 17 |
| 1.2 | Objetivos | 19 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 19 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos (OE)..... | 19 |
| 1.3 | Justificativa | 19 |
| 1.4 | Inserção na Engenharia de Produção | 20 |
| 1.5 | Originalidade do Trabalho | 21 |
| 1.6 | Escopo e Delimitação da Pesquisa | 24 |
| 1.7 | Estrutura do Trabalho | 25 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 27 |
| 2.1 | Classificação da Pesquisa | 27 |
| 2.2 | Procedimentos para a Proposição do Modelo de Gestão dos Custos de Garantia | 28 |
| 2.2.1 | Procedimentos da Revisão Sistemática de Literatura | 31 |
| <u>2.2.1.1</u> | <u>Análise do Portfólio</u> | <u>34</u> |
| 2.2.2 | Construção do Modelo | 34 |
| 2.3 | Estudo de Caso: Procedimentos para a Aplicação do Modelo | 36 |
| 2.3.1 | Caracterização da Indústria Alvo..... | 36 |
| 2.3.2 | Procedimentos para a Aplicação do Modelo de Gestão do Custo de Garantia na Renault Brasil | 37 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 39 |
| 3.1 | Gestão da Qualidade | 39 |
| 3.1.1 | Qualidade 4.0 | 40 |
| <u>3.1.1.1</u> | <u>Modelos da Qualidade 4.0</u> | <u>45</u> |
| 3.1.2 | Ferramentas e modelos para a gestão da qualidade | 51 |
| 3.1.3 | Custos da Qualidade | 55 |
| 3.2 | Oferta de Garantia | 59 |
| 3.2.1 | Tipos de Garantia..... | 61 |
| 3.2.2 | Gestão do Custo de Garantia..... | 66 |
| 3.2.3 | Oferta de Garantia na Indústria Automobilística | 68 |
| 3.3 | Análise de Dados na Gestão do Custo de Garantia | 74 |
| 3.4 | Gestão da Garantia na Indústria Automobilística: Estado da Arte .. | 85 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.4.1 | Bibliometria..... | 85 |
| 3.4.2 | Análise de Conteúdo | 88 |
| 4 | PROPOSTA DO MODELO DE GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA..... | 98 |
| 5 | APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: RESULTADOS E DISCUSSÕES | 117 |
| 6 | CONCLUSÕES | 154 |
| | REFERÊNCIAS..... | 160 |
| | APÊNDICE A – PORTFÓLIO FINAL DE ARTIGOS..... | 170 |

1 INTRODUÇÃO

Por volta dos anos 50 e 60, as empresas eram sustentadas pela demanda excedente, pois a produção não era suficiente para atender a demanda por produtos. As organizações tinham uma orientação mais voltada para a produção do que para o produto, o que significa que a qualidade ficava em segundo plano, já que as organizações preconizavam atender a alta demanda em detrimento de controlar a qualidade. Conseqüentemente, a estratégia principal não era a satisfação e fidelização do consumidor (KOTLER, 2000; CHURCHILL; PETER, 2000).

Com a globalização e, conseqüentemente, com o crescimento da competitividade global, os métodos tradicionais de gestão tornaram-se insuficientes para a sobrevivência das organizações, necessitando que medidas em direção à maior satisfação do consumidor fossem adotadas (MCNEIL; MILLER, 1980; KOTLER, 2000; CHURCHILL; PETER, 2000). Com o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, o modo de gestão também se desenvolveu e se adaptou às necessidades do mercado.

Nesse processo evolutivo, a Gestão da Qualidade passou pelas seguintes formas de gestão, denominadas eras da qualidade: Era da Inspeção; Era do controle estatístico; Era da Garantia da Qualidade; Era da Qualidade Total, até abranger conceitos e tecnologias 4.0, dando origem a Era da Qualidade 4.0. A partir disso, surgem novos modelos, ferramentas e técnicas de gestão da qualidade. Esse novo conceito baseia-se em análise de Big Data, sensores, sistemas de monitoramento contínuo e em tempo real, modelos de previsão para controle da qualidade inteligente, uso de *Machine Learning* (ML), dentre outros, permitindo gerar melhorias na qualidade do produto, na eficiência e no uso dos dados, bem como a redução de custos (ANTONY *et al.*, 2023).

Em função dessa evolução, o uso massivo de tecnologias proporciona a disponibilidade de grandes volumes de dados, em um ambiente de acesso mais facilitado em função do uso da internet e mídias sociais. Isso faz com que a voz do consumidor seja amplamente difundida, impactando diretamente na imagem e nas vendas das organizações, conforme a satisfação do mercado. Assim, as organizações estão cada vez mais inserindo as necessidades e satisfação do consumidor no centro dos processos decisórios, e preconizando serviços que impactem diretamente nessa

satisfação, como qualidade do produto e dos serviços de pós-venda (WANG; XIE, 2017).

Nesse contexto, políticas de garantia vêm sendo amplamente adotadas, sendo a garantia um acordo contratual entre fabricante e consumidor, que estabelece como o produto deve funcionar em condições normais de uso, atribuindo as responsabilidades em caso de falha do produto que ocorra dentro do prazo da garantia, reparando, substituindo ou trocando peças quando necessário (DIMITROV; CHUKOVA; KHALIL, 2004; KARIM; SUZUKI, 2005; WANG; XIE, 2017; MITRA, 2019).

Além de resguardar os direitos dos fabricantes e dos consumidores, a garantia é uma ferramenta utilizada pelas organizações com outros objetivos, como indicar indiretamente a qualidade do produto, garantindo que um produto ou serviço irá funcionar em conformidade com o estabelecido e vendido (BLISCHKE; MURTHY, 1996), como uma estratégia de *marketing*, à qual é utilizada para majorar as vendas (KARIM; SUZUKI, 2005), um meio de influenciar na escolha do produto, e, também, um meio para fidelizar clientes.

Embora o fornecimento de garantia possa impactar positivamente nas vendas e credibilidade da marca, também pode gerar riscos e desafios, como o aumento de custos para as organizações e consumidores, bem como gerar impactos negativos à imagem da marca, caso mal gerenciada. Dessa forma, faz-se necessário que haja um bom planejamento, controle e gestão de sua aplicação e de seus custos, selecionando o tipo de garantia coerente ao produto vendido e ao consumidor alvo, visto que cada produto deve ter seu tipo de garantia. Dessa forma, com uma boa gestão, é possível reduzir a possibilidade de prejuízos à organização, ao mesmo tempo que protege seus consumidores (MURTHY, 2006; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

São diversos os tipos existentes de garantia. O estudo de Murthy e Blischke (1992) aborda a tipologia das políticas de garantia, classificando-as quanto à necessidade de se gerar desenvolvimento adicional pós-venda e quanto a unidade de produtos vendidos. Além disso, produtos com política de venda de item único podem ser classificados quanto a renovação da garantia pós substituição de peças, sendo renovável ou não renovável (MURTHY; BLISCHKE, 1992; 2008).

As políticas de garantia podem ser classificadas quando sua dimensionalidade, podendo ser unidimensional (1D) ou bidimensional (2D). A política 1D baseia-se no tempo de uso ou na idade do item, já a 2D baseia-se no tempo ou idade e no uso. Grande parte das indústrias automobilísticas adotam a política

bidimensional, tendo a garantia válida por 3 anos e com um limite de quilometragem, expirando quando um dos dois parâmetros for atingido primeiro (MURTHY; BLISCHKE, 1992; 2008; WANG; XIE, 2017).

Juntamente com a correta definição de política, em consonância com o produto, e da qualidade do produto propriamente dita, outros aspectos podem influenciar no nível de serviço da garantia, impactando também na satisfação do consumidor, como a qualidade do serviço de pós-venda, o serviço realizado pela concessionária e a relação entre o consumidor e concessionária (MCNEIL; MILLER, 1980). Sendo assim, verifica-se que outra variável de interesse para o bom aproveitamento da garantia na satisfação do consumidor é o serviço prestado pelas concessionárias. Assim, outra atividade que deve ser realizada na gestão do custo de garantia é a auditoria das concessionárias, permitindo detectar anomalias, variações e nível de serviço.

A gestão dos custos da garantia é essencial (WU; XIE, 2008). O bom planejamento, envolvendo reengenharia, análise de dados, análise de recuperação de fornecedores, gestão de reparos e de estoque (DÍAZ *et al.*, 2009), definindo funções, aliado ao uso de ferramentas efetivas, impactam na prestação da garantia e de seus custos (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012), mas também na satisfação do consumidor. Embora essencial, a gestão do custo de garantia apresenta diversos desafios. No caso da indústria automobilística esses desafios são acentuados devido a diversidade de políticas aplicáveis, impactadas pelo tipo de veículo, carga de uso, condições das vias, e modo de manuseio do consumidor; devido a satisfação do consumidor ser influenciada tanto pela qualidade do produto, mas também pelo serviço prestado pelas concessionárias; pela diversidade de dados gerados pelos sistemas da garantia, tanto da montadora como das concessionárias, que devem ser integrados; pelo valor que a garantia representa para as montadoras, podendo atingir 2% da receita das montadoras, conforme relatório *Global automotive manufacturing industry revenue between 2019 and 2022* do website Statista (2022), dentre outros fatores.

Uma das atividades fundamentais para permitir a gestão da garantia é por meio da análise de dados da garantia. Assim, as organizações investem tempo e recursos a fim de monitorar e rastrear os problemas de qualidade e garantia, como por meio de análise de reclamação de consumidores em páginas web e das informações registradas nos sistemas das concessionárias. Entretanto, essa atividade

apresenta diversos desafios, devido ao enorme volume de dados gerados em tempo real, devido às características dos dados, o *delay* no registro, dados não confiáveis, incompletude, integração de dados de diferentes fontes, dentre outros (LAWLESS, 1998; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; WU, 2012; SUZUKI *et al.*, 2020).

Embora muitos desafios surjam no contexto da análise de dados da garantia, também existem oportunidades, como a possibilidade de comparação de diferentes produtos do mercado e de concorrentes, realizar predição dos custos, estimar confiabilidade, tomada de decisão mais assertiva, acompanhar métricas de desempenho do produto e identificar desvios (LAWLESS, 1998; HOTZ *et al.*, 2001; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012). Sendo assim, destaca-se a necessidade de se inserir processos de gestão dos custos de garantia por meio da análise de dados nas organizações como forma de melhorar o desempenho na área, superar os desafios e promover um melhor serviço ao consumidor.

No intuito de gerenciar os custos da garantia, são mencionadas métricas, como o uso da taxa de falha por mil (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012), bem como o uso de modelos para predição ou previsão de diferentes variáveis, como modelagem da taxa de falha, de reclamações do consumidor e de custos (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012). Entretanto, a simples adoção de métricas não é suficiente para solucionar problemas e promover a gestão da garantia (MCNEIL; MILLER, 1980), refletindo no desafio enfrentado pela indústria automobilística. Diante desse contexto, surge o problema da presente pesquisa.

1.1 Problema de Pesquisa

A falta de gestão da garantia, tratando-a como um posto no centro de custo, pode gerar perdas de oportunidades, como de melhorar o nível de satisfação do cliente (DÍAZ *et al.*, 2009). Para ofertar garantia, a organização deve ter ciência do risco de alto custo de serviço (ISSACSON *et al.* 1991; HADEL; LAKEY, 1993), que pode afetar os custos operacionais totais da organização (MURTHY *et al.*, 2002).

Assim, verifica-se a necessidade de ter um bom planejamento da política de garantia, bem como uma boa gestão de seus custos. Um sistema de gestão da garantia permite influenciar no projeto de fabricação, gerando aumento de qualidade por meio de informação sobre os defeitos, suas origens e possíveis soluções (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

Neste cenário, o modelo de gestão de garantia deve auxiliar a definir políticas e procedimentos para o processamento de reclamações, e deve envolver, dentre outros, a reengenharia do processo de garantia; análise de dados; análise e recuperação de fornecedores; gerenciamento de reparos; e gestão de estoque (DÍAZ *et al.*, 2009). Além disso, para um bom gerenciamento da garantia, o escopo da garantia deve ser conhecido, ou seja, sua cobertura e todas as informações da política devem ser especificadas.

Por sua vez, as organizações investem recursos a fim de monitorar os problemas de qualidade que impactam no custo de garantia, monitorando, por exemplo, as reclamações dos clientes. No contexto das indústrias automobilísticas, segmento foco da presente pesquisa, dados são gerados nos sistemas de controle de garantia das concessionárias, bem como no fabricante, que armazena dados desde a montagem do veículo. Com isso, grandes volumes de dados são gerados, de diferentes fontes, de diferentes tipos e características, permitindo que a organização tenha diversas possibilidades de análises, maior rastreabilidade, dentre outros benefícios.

Assim, devido ao grande volume e as características, ferramentas específicas são necessárias, tanto para o armazenamento quanto para manipulação e análise dos dados da garantia. Entretanto, para isso, faz-se necessário um bom planejamento da análise, definindo o objetivo da análise, os procedimentos de limpeza dos dados, de pré-processamento, os parâmetros e variáveis que serão avaliadas, as métricas possíveis, os indicadores disponíveis, e outros aspectos. Para isso, o uso de um modelo de gestão, com a definição de um procedimento para o desenvolvimento da análise, permite elevar o desempenho da gestão (EFQM, 2020), gerando inúmeros benefícios para a organização.

Conforme abordado, a gestão do custo de garantia é um desafio para diversas organizações e segmentos, inclusive para a indústria automobilística, que tem esse desafio acentuado por envolver dados de diferentes fontes e formatos, dados sensíveis, processos complexos e não centralizados, serviço prestado pela rede de concessionárias de difícil auditoria, dentre outros.

Assim, frente à importância de se gerenciar os custos de garantia, aliado às dificuldades da análise de dados da garantia e a ausência de modelos de gestão do custo de garantia, a presente pesquisa tem como pergunta de pesquisa: *Como gerar solução para a gestão do custo de garantia na indústria automobilística, por meio da*

análise de dados da garantia? A partir disso, erigem-se os objetivos da presente pesquisa.

1.2 Objetivos

Os objetivos, geral e específicos, que nortearam a realização desta pesquisa estão descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar um modelo de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística, baseado em análise de dados, Qualidade 4.0 e melhoria contínua.

1.2.2 Objetivos Específicos (OE)

- OE1: Comparar modelos, ferramentas e análises propostas na literatura para a gestão dos custos e dados de garantia na indústria automobilística;
- OE2: Determinar as variáveis que influenciam na gestão da garantia da indústria automobilística, bem como na análise de dados da garantia, por meio de uma revisão de literatura;
- OE3: Aplicar o modelo de gestão do custo de garantia, proposto na presente pesquisa, em uma indústria automobilística, para gerar soluções no âmbito da gestão da garantia; e
- OE4: Avaliar os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo proposto.

1.3 Justificativa

A competitividade do mercado orienta as organizações a tornarem-se cada vez mais centradas nos consumidores, adotando medidas que melhorem a qualidade do serviço (DÍAZ *et al.*, 2009). Nesse contexto, os serviços de pós-venda das organizações tornam-se cada vez mais essenciais para a sobrevivência e competitividade no mercado, sendo a garantia o fator mais importante para esses serviços (WANG; XIE, 2017). Embora seja fonte de benefícios, a oferta de garantia também é um risco para a organização quando mal gerenciada, impactando diretamente na receita da organização, e, conseqüentemente, em sua sobrevivência (MURTHY; BLISCHKE, 2008; DÍAZ *et al.*, 2009).

Diante disso, verifica-se a necessidade da melhor gestão dos custos de garantia. Assim, a presente pesquisa visa desenvolver um modelo de gestão do custo de garantia, e, posteriormente, validá-lo em um estudo de caso. A aplicação do modelo será na multinacional Renault, na planta do Brasil, situada em São José dos Pinhais, no estado do Paraná, e espera-se que o trabalho resulte nas seguintes contribuições, conforme Figura 1.

Figura 1 – Contribuições da pesquisa

CONTRIBUIÇÃO TEÓRICO-CIENTÍFICA



A literatura de gestão da garantia foca em modelos matemáticos e de previsão de custo de garantia, como em Kalbfleisch, Lawless e Robinson (1991); Hotz et al. (1999); Hotz et al. (2001); Suzuki, Karim e Wang (2001); Buddhakulsomsiri et al. (2006) e Majeske (2007). Entretanto, a presente pesquisa visa contribuir com a academia ao definir um modelo de gestão do custo de garantia, baseando-se na literatura presente e em modelos de Qualidade 4.0. Até o momento, não foi realizada a conexão entre modelos de gestão de garantia com conceitos da Q4.0 na literatura. Assim, essa pesquisa também contribui com essa lacuna científica.

CONTRIBUIÇÃO COM A INDÚSTRIA



A presente pesquisa visa gerar um modelo de gestão para o custo de garantia, sendo a gestão desse custo uma atividade fundamental para a mitigação dos riscos de se ofertar garantia, especialmente para a indústria automobilística. Assim, com um modelo de gestão, assegurando posse das informações para a correta gestão, espera-se redução de custos; melhora na análise das falhas prioritárias; auxilia na promoção de qualidade e tomada de decisão, e, conseqüentemente, melhora na satisfação do consumidor com o serviço de pós-venda. Além disso, a partir da validação do modelo, a presente pesquisa pode servir como apoio para outras indústrias, de outros segmentos, no desenvolvimento de gestão própria.

CONTRIBUIÇÃO PARA A SOCIEDADE



A pesquisa visa melhorar a gestão dos custos de garantia, que conseqüentemente permite melhorias na qualidade e no serviço de pós-venda das organizações do ramo automobilístico. A partir da posse de informações dos custos de garantia, bem como a gestão melhorada, a organização terá informações de forma rápida e priorizando falhas que mais afetam o consumidor. Com isso, é possível melhorar os processos e a qualidade do produto. Assim, a sociedade ganha tanto em melhor serviço prestado, como também em produtos de maior qualidade no mercado.

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

1.4 Inserção na Engenharia de Produção

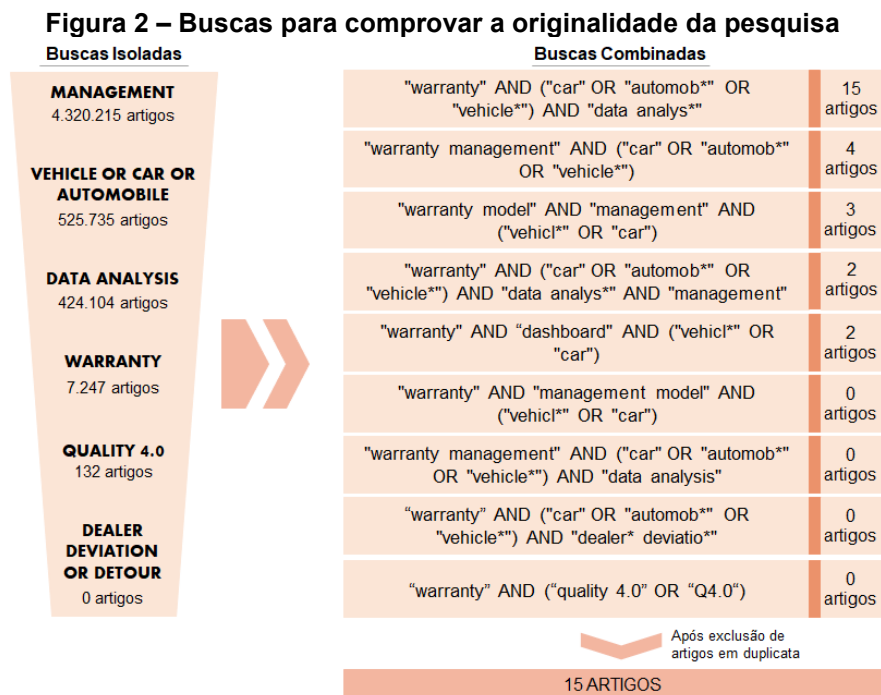
De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO (ABEPRO, 2020), produzir vai além do uso de conhecimentos técnicos e científicos, faz-se necessário integrar outros aspectos de naturezas diversas, além de considerar critérios de qualidade, custo, eficiência, dentre outros. Assim, a indústria além de produzir, adotando todo o conhecimento técnico e científico, deve gerenciar os outros diversos fatores que influenciam na sua performance, sobrevivência e competitividade, como a gestão de seus custos e a qualidade.

A ABEPRO define as grandes áreas da Engenharia de Produção, e a presente pesquisa se enquadra em duas grandes áreas, sendo a Engenharia da Qualidade, na subárea Planejamento e Controle da Qualidade; e na grande área Engenharia Econômica, na subárea Gestão de Custos. Também, este trabalho está atrelado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa, e ao grupo de pesquisa de Gestão Industrial, ao qual a pesquisadora está vinculada.

1.5 Originalidade do Trabalho

A pesquisa visa desenvolver um modelo de gestão do custo de garantia, e, posteriormente, validá-lo em um estudo de caso na Renault Brasil. O modelo visa facilitar a gestão de dados da garantia, permitindo desenvolver análises baseadas em dados, que tornarão a tomada de decisão das organizações mais assertiva, resultando em uma gestão mais eficaz dos custos de garantia.

Para validar a originalidade da pesquisa, inicialmente foi realizada uma busca dos termos centrais da pesquisa, sendo “warranty”, “warranty model”, “vehicle”, “data analysis”, “management”, “model”, “dashboard”, “dealer deviation” e “Quality 4.0”, nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. Primeiramente, as buscas foram feitas de forma isolada, conforme ilustrado na Figura 2, e posteriormente, de forma combinada.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Na busca por termos isolados, verificou-se que somente a busca por “dealer deviation” ou “dealer detour” resultou em um valor nulo. Nas buscas com os termos combinados, utilizando também variações, verificou-se um baixo número de artigos, resultando em um valor nulo os eixos que abordam de forma combinada a garantia, modelos de gestão e setor automobilístico; gestão da garantia, setor automobilístico e análise de dados; análise de desvios de concessionária e garantia no setor

automobilístico; e garantia e qualidade 4.0, identificando-se, assim, uma fragilidade na literatura acerca da temática.

Dentre os artigos resultantes da busca, foram eliminados os artigos em duplicata, resultando em 15 artigos, que foram lidos na íntegra, mapeando seus objetivos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Objetivos dos artigos

| Objetivos |
|---|
| Lerner (2002): Aborda a utilização de <i>Light-Emitting Diodes</i> (LEDs) em veículos, abordando os possíveis benefícios dessa prática. |
| O'Reilly (2004): Foram propostas soluções para reparos contínuos e problemas de serviço de fornecedores para uma fábrica de pneus, gerando redução de custos em reparos e de taxa de utilização de garantia. |
| Wheatley (2004): Discute a adoção de <i>Business intelligence</i> (BI) por parte da Suzuki americana em análises de garantia. |
| Blumenstock <i>et al.</i> (2009): Os autores abordam o <i>Rule Cubes</i> , atualmente utilizado, com sucesso, na indústria automotiva na identificação das causas principais dos problemas de qualidade. Conforme os autores, o <i>Rule Cubes</i> são padrões que podem assumir o papel de regras, com cada cubo afirmando que suas variáveis ocasionaram um problema. |
| Rai (2009): Apresenta estratégias para analisar dados de garantia de veículos para melhorar confiabilidade e robustez, discutindo métodos para estratificar dados em termos de preocupações dos clientes e/ou peças causa da falha, permitindo priorizar projetos de melhoria de confiabilidade. |
| De, Das e Sureka (2010): Proposta de um modelo de análise de causa raiz para falhas de garantia. Foram utilizadas ferramentas como <i>Ontology-Relationship-Diagram</i> (ORD), Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), Rede Bayesiana (BN), técnicas de processamento de texto, dentre outras. |
| Jenab, Pourmohammadi e Sarfaraz (2014): Apresentam um modelo de garantia para melhorar sua gestão, por meio de um estudo de caso. O modelo é composto pelo desdobramento da função qualidade (QFD) e pelo processo hierárquico analítico baseado em intervalos (i-AHP). |
| Prasath, Naveenchandran e Thamostraran (2015): Otimizar o processo de fabricação do material para melhorar a eficiência da frenagem do veículo, atendendo às necessidades identificadas por meio da garantia. Foram aplicadas ferramentas como <i>benchmarking</i> , FMEA, <i>Poka Yoke</i> , automação de processos, validação do produto e parâmetros e análise de dados. |
| Dai <i>et al.</i> (2017): Investigar o efeito da taxa de uso na degradação do produto, utilizando o modelo <i>Accelerated Failure Time</i> (AFT). Os resultados foram utilizados para projetar uma política de garantia flexível para clientes com diferentes taxas de uso. |
| Saidin <i>et al.</i> (2018): Analisar a influência da qualidade na lealdade do consumidor em montadoras nacionais da Malásia. |
| Wang e Xie (2018): Revisar os conhecimentos relacionados à garantia 2D, sintetizando trabalhos e desenvolvimentos neste campo, com ênfase em metodologias teóricas e em aplicações práticas. |
| Luo e Wu (2019): Investigar os custos de garantia incorridos devido a falhas específicas de <i>software</i> , de <i>hardware</i> , da interação <i>software-hardware</i> e erros humanos, estimando os custos por diferentes causas. |
| Dai <i>et al.</i> (2019): Modelo de previsão de incidentes de garantia considerando a taxa de uso na degradação de novos produtos vendidos com garantia 2D, utilizando o modelo AFT. O <i>Non-homogeneous poisson process</i> (NHPP) foi usado para modelar a contagem de falhas e o <i>maximum-likelihood estimation</i> (MLE) é usado para estimar os parâmetros do modelo. |
| Juściński (2020): Determinar o nível de confiabilidade de veículos agrícolas, considerando a necessidade de serviços técnicos no posto autorizado. |

| Objetivos |
|---|
| Pang <i>et al.</i> (2022): Sistema para avaliar a confiabilidade do veículo, com base nos dados reais de garantia de três veículos, por meio de análises estatísticas de falhas, avaliação de confiabilidade e previsão de demanda de peças de reposição. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir da leitura dos trabalhos conclui-se que a presente pesquisa é original, ou seja, não foi identificada a proposta de um modelo de gestão do custo de garantia baseada em análise de dados, ou a definição de procedimentos para tal. Além disso, verificou-se nas bases de dados não haver documentos que abordem custo de garantia e qualidade 4.0, sendo mais uma fragilidade da literatura que o presente trabalho contribui.

Além das buscas nas bases de dados, foi realizada uma busca na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), utilizando as mesmas buscas combinados descritas na Figura 2, porém com os termos traduzidos para o português, nos últimos 23 anos, ou seja, jan/2000 à jan/2023, e realizando a busca no campo Todos os Campos. Os resultados obtidos foram conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Buscas em teses e dissertações para comprovar a originalidade

| Combinação de Palavras-Chave | Número de trabalhos |
|---|---------------------|
| “garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “análise de dados” | 31 |
| “garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “modelo de gestão” | 3 |
| “gestão da garantia” AND (“veículos” OR “carros”) | 1 |
| “modelo de garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “gestão” | 0 |
| “modelo de garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “gestão” AND “Análise de dados” | 0 |
| “garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “dashboard” | 0 |
| “gestão da garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “análise de dados” | 0 |
| “garantia” AND (“veículos” OR “carros”) AND “desvio de concessionária” | 0 |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Foram lidos os títulos e resumos dos trabalhos, visando identificar trabalhos similares, entretanto, não foram identificados trabalhos abordando a temática do presente estudo. Assim, conclui-se que a pesquisa é original e necessária para suprir a fragilidade da literatura, sendo também uma necessidade prática da indústria para gerenciar os dados e custos da garantia.

1.6 Escopo e Delimitação da Pesquisa

A literatura estudada para a proposição do modelo não se limita a uma indústria ou caso específico, porém, o modelo proposto na presente pesquisa foi aplicado em somente uma indústria automobilística multinacional. Essa limitação decorre da restrição de tempo, disponibilidade para a aplicação e dificuldade em estabelecer parcerias para o uso de informações confidenciais.

A aplicação do modelo demanda tempo e disponibilidade de pessoas da indústria ao qual o modelo foi aplicado. Devido a isso, foi selecionada somente uma indústria para aplicação.

Dados sensíveis, que violem a lei de proteção dos dados, ou considerados como confidenciais pela indústria, deverão ser anonimizados, escondidos ou censurados, não sendo possível apresentar na íntegra os resultados.

Dados como número de incidentes e custo serão fictícios, visando preservar a confidencialidade dos dados.

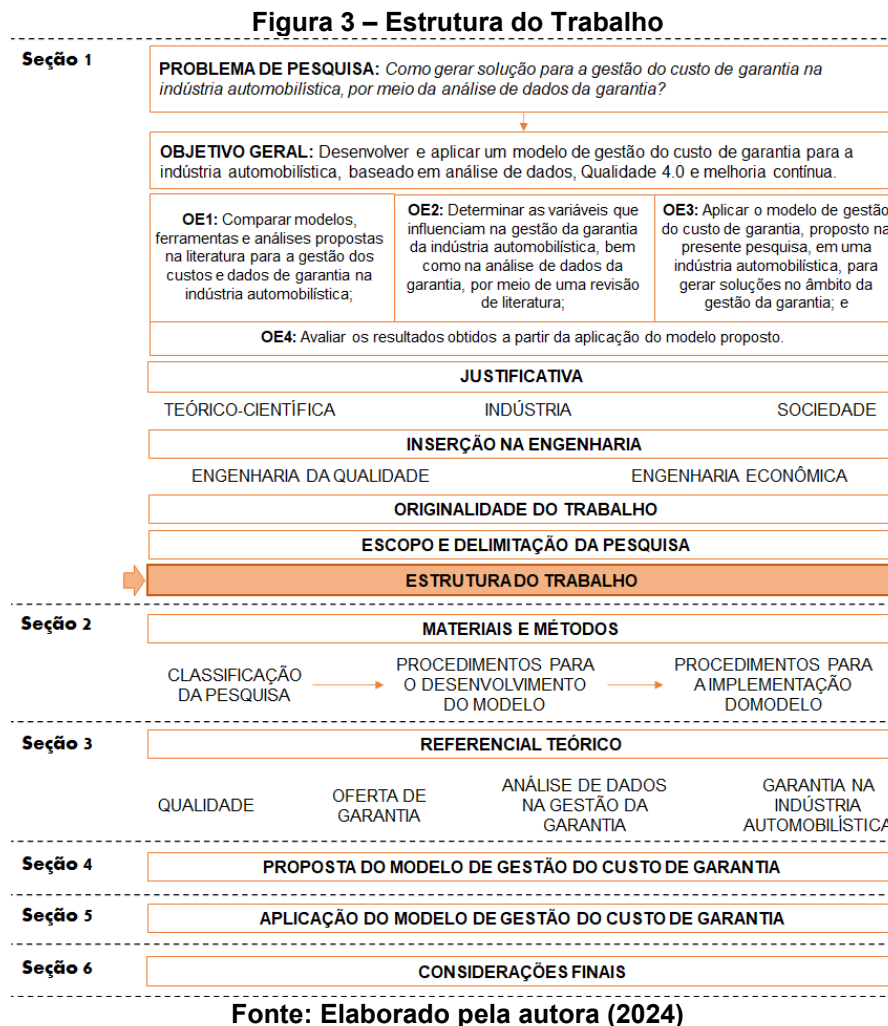
Até o momento da conclusão da presente pesquisa, não foi identificado na literatura um modelo para a gestão do custo da garantia, com foco na análise de dados da indústria automobilística.

A aplicação do modelo na indústria selecionada para o estudo de caso resultou no desenvolvimento de dois modelos para a detecção de concentração de custos de garantia na rede de concessionárias. Devido às questões de confidencialidade, algumas informações específicas do desenvolvimento dos modelos, bem como informações das concessionárias serão resumidas. Além disso, conforme demonstrado na seção de originalidade do trabalho (1.5), não existe na literatura trabalhos que abordem gestão da garantia juntamente com desvio de concessionárias, sendo assim, a presente pesquisa contribui com essa lacuna científica.

Embora o método manual esteja em funcionamento desde abril de 2023, gerando alertas mensalmente para os quatro países LATAM, e o método de *Machine Learning* desde outubro de 2023, a presente pesquisa apresenta os resultados de alertas de Concentração de Custo somente para o mês de agosto de 2023, para veículos em garantia do Brasil, a fim de exemplificar os resultados.

1.7 Estrutura do Trabalho

Este estudo está organizado em cinco seções, conforme Figura 3.



Nesta primeira Seção foi definido o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa, a inserção da pesquisa nas áreas da Engenharia de Produção, o esclarecimento da originalidade do trabalho, o escopo e delimitação da pesquisa, e, por fim, a estrutura geral da pesquisa.

A Seção 2 traz os procedimentos metodológicos. Inicialmente é apresentada a classificação da pesquisa quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Na sequência, foram descritos os procedimentos para a revisão sistemática de literatura, a qual tem como resultado a construção de um portfólio de artigos com relevância científica, que será a fonte para análises bibliométricas e de conteúdo. Após, foram descritos os procedimentos para a proposição do modelo genérico de gestão do custo de garantia. E, por fim, foram

descritos os procedimentos para a validação do modelo, por meio de um estudo de caso.

A Seção 3 apresenta o referencial teórico, abordando os temas que balizam a pesquisa, sendo a qualidade e sua evolução, o custo de garantia, os tipos de garantia, a gestão do custo de garantia, a análise de dados da garantia, e o custo de garantia na indústria automobilística, apresentando os resultados das análises, bibliométricas e de conteúdo, do portfólio.

A Seção 4 apresentou o desenvolvimento do modelo genérico para gestão do custo de garantia com foco na indústria automobilística, definindo os procedimentos e descrevendo cada etapa.

Após, na Seção 5 foram apresentados os resultados e discussões da aplicação e validação do modelo na indústria automobilística selecionada. Inicialmente, foi realizada a caracterização da indústria, para que posteriormente as etapas do modelo fossem aplicadas e descritas.

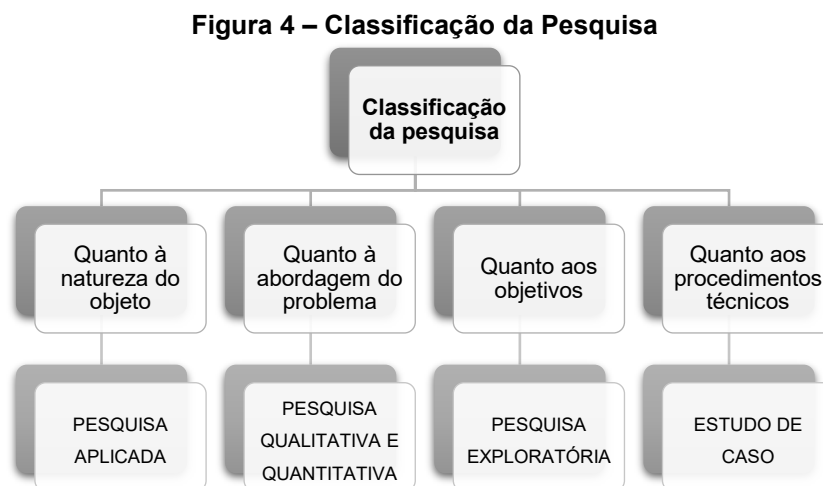
Por fim, na Seção 6 foram tecidas as conclusões da presente pesquisa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção destina-se a descrever os procedimentos metodológicos adotados, permitindo que os objetivos específicos sejam atingidos, e, conseqüentemente, o objetivo geral da pesquisa. Assim, inicialmente (2.1) será realizada a Classificação da Pesquisa. Na sequência, (2.2) serão descritos os procedimentos para a proposição do modelo de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística; e, por fim, (2.3) serão descritos os procedimentos para a aplicação do modelo na indústria automobilística selecionada.

2.1 Classificação da Pesquisa

A classificação da pesquisa seguiu as definições propostas por Lakatos e Marconi (2001), Silva e Menezes (2001) e Gil (2002), conforme Figura 4, e descrita na sequência:



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Quanto à natureza, a presente pesquisa é classificada como aplicada, visto que, tem como objetivo gerar conhecimentos para que problemas na prática sejam solucionados (SILVA; MENEZES, 2001).

Em relação à abordagem do problema, uma pesquisa pode ser classificada como qualitativa e/ou quantitativa. Caracteriza-se como qualitativa quando existe uma subjetividade no objeto de estudo que não pode ser traduzido em número, não é quantificável. Já, uma pesquisa caracteriza-se como quantitativa quando seu objeto de estudo pode ser traduzido em números, utilizando técnicas estatísticas, como percentagem, média, moda, correlação, desvio-padrão, dentre outros (SILVA; MENEZES, 2001). Assim, a presente pesquisa pode ser classificada tanto como

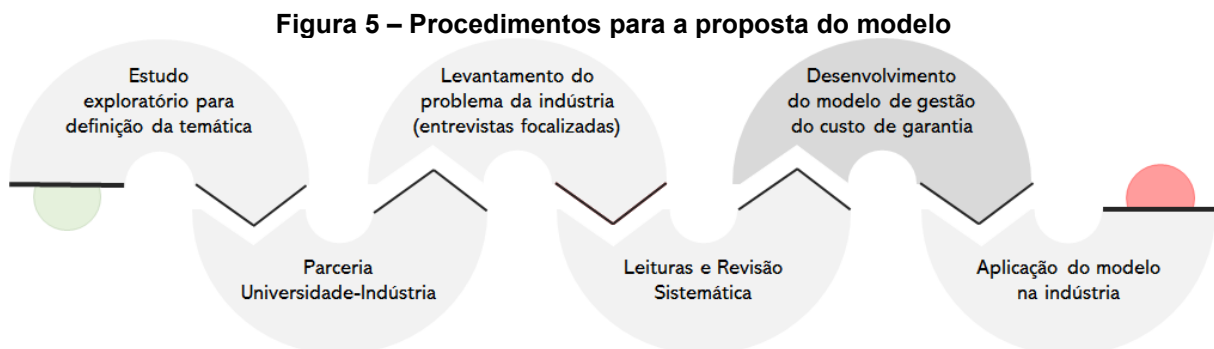
qualitativa como quantitativa, visto que se utiliza de conhecimentos teóricos, não traduzíveis em números, mas também se utiliza de técnicas matemáticas a fim de gerar análises e as traduzir em conhecimentos.

Quanto aos objetivos da pesquisa, é caracterizada como exploratória, visto que, tem como objetivo aumentar o conhecimento acerca de um fato ou fenômeno, clarificando conceitos. Para isso, emprega-se procedimentos sistemáticos, para análise de dados, por exemplo, obtendo descrições qualitativas e/ou quantitativas de um evento, permitindo ao pesquisador identificar relações entre os elementos (LAKATOS; MARCONI, 2001; GIL, 2002).

Por fim, a pesquisa é classificada como um estudo de caso, de acordo com seus procedimentos técnicos, sendo definida como o estudo exaustivo de um objeto de pesquisa, permitindo seu detalhamento, e estimulando novas descobertas (GIL, 2002).

2.2 Procedimentos para a Proposição do Modelo de Gestão dos Custos de Garantia

A construção do modelo de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística seguiu os procedimentos ilustrados na Figura 5.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, conforme Figura 5, observa-se que a construção do modelo se baseou em alguns procedimentos. O primeiro deles foi um estudo exploratório, visando mapear possíveis temáticas, setores e indústrias. Foi definido que a presente pesquisa teria viés prático, definindo também o setor automobilístico para conduzir a prática.

A partir disso, foi selecionada uma indústria automobilística para estabelecer uma parceria indústria-universidade, sendo a Renault Brasil, multinacional francesa situada em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, capital do Paraná.

Essa seleção foi motivada pela proximidade da indústria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa (UTFPR-PG), bem como pelo histórico de parcerias bem-sucedidas entre pesquisadores e alunos da UTFPR-PG com a indústria selecionada. Essa parceria foi estabelecida com o setor de Qualidade-Brasil, setor responsável pela satisfação do consumidor, delimitando a área da pesquisa.

A partir dessa parceria, realizou-se um levantamento acerca de problemas do setor, visando identificar a problemática que seria tratada pela presente pesquisa. Para isso, foram realizadas entrevistas focalizadas com o coordenador da engenharia da qualidade Brasil, sendo um procedimento que apresenta maior flexibilidade, que embora livre, enfoca um tema específico (GIL, 2002). A partir disso, foram mapeados alguns problemas enfrentados pelo setor, e, a partir da revisão das metas da organização, definiu-se como problema alvo a gestão dos custos de garantia.

A qualidade é impactada pela satisfação do consumidor, que por sua vez, pode ser impactada por diversos aspectos, como qualidade do veículo, conforto, serviço de pós-venda, serviço prestado pela rede de concessionárias, serviços prestados durante o período de garantia, dentre outros. Diante disso, identificou-se que um dos problemas da gestão de garantia da organização é em relação aos pedidos de reembolso por parte da rede de concessionárias. Esses pedidos ocorrem para serviços realizados pela rede em veículos que estão em período de garantia. A partir dos serviços prestados pela rede de concessionárias, são enviados pedidos de reembolso, os quais são avaliados pela Renault e, em caso de conformidade realiza o reembolso para as concessionárias. Entretanto, a organização não apresenta uma ferramenta específica para identificar possíveis anomalias nos dados de pedidos de reembolso que ocorrem durante a garantia dos veículos.

Diante disso, definiu-se como problemática da indústria a detecção de anomalias nos custos de garantia por parte das concessionárias, sendo necessário analisar os dados de incidentes ocorridos em veículos em garantia a fim de propor uma solução. Nesse contexto, foi realizada uma busca exploratória com outros termos para desvio de concessionária, visto que na seção de originalidade da pesquisa (1.5), os termos *dealer deviation/detour* não obtiveram retorno. A partir disso, foi identificado o trabalho de Hotz *et al.* (2001), com a problemática de identificar fraudes em dados das concessionárias. Esse trabalho foi revisado junto ao coordenador da qualidade da indústria foco, a fim de avaliar se o método usado seria aplicável.

Verificou-se que a solução proposta é segmentada pelos top-problemas, definindo os códigos de problemas que serão avaliados por meio do custo, bem como, não segmenta por projetos de veículos. Esses parâmetros não são aplicáveis ao contexto da Renault, visto que um mesmo código de problema pode apresentar grandes variações de custos devido à região localizada, bem como devido ao modelo de veículo, que necessita tratamentos específicos para um determinado código de problema. Além disso, para a detecção, o autor sugere o uso de custo médio de uma concessionária para um código de problema em relação à média do grupo de concessionárias. A partir disso, reafirma-se não ser possível aplicar a mesma metodologia, visto que, concessionárias de regiões diferentes apresentam variações de custos muito altos, e, além disso, analisando a distribuição de dados de incidentes da Renault, concluiu-se que a média não é uma métrica cabível para identificar *outlier*, visto que a distribuição dos dados é assimétrica.

Diante disso, a problemática da indústria gerou a pergunta problema da presente pesquisa, motivando no desenvolvimento de um modelo para a gestão dos custos de garantia, com procedimentos que permitissem gerar soluções para problemas de garantia por meio da análise de dados, visto que, ao realizar leituras exploratórias acerca de soluções para esse problema, não foi identificado na literatura um modelo com procedimentos para gerar soluções.

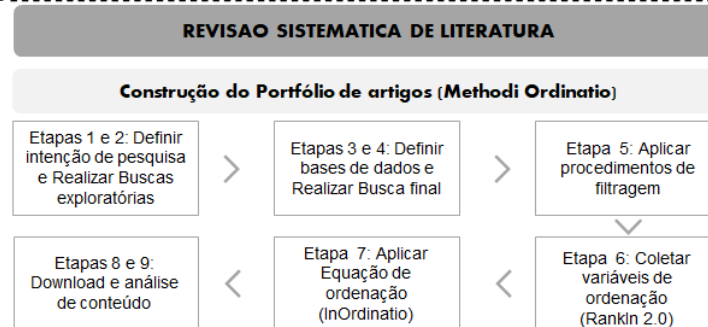
Assim, o modelo de gestão do custo de garantia foi construído a partir dos conhecimentos obtidos por meio das leituras e revisões sistemáticas de literatura. Inicialmente foram definidos os temas centrais do referencial teórico, sendo a qualidade, englobando a Qualidade 4.0 e os custos da qualidade; a oferta de garantia, englobando políticas e garantia na indústria automobilística, e, por fim, a análise de dados da garantia.

Posteriormente, com o intuito de definir um portfólio de artigos que englobasse a literatura acerca de modelos de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística, foi proposto a aplicação da metodologia *Methodi Ordinatio*, de Pagani, Kovaleski e Resende (2015; 2017), atualizada em Pagani *et al.* (2022), conforme será apresentado na seção 2.2.1. Esse portfólio foi fonte das coletas e análises para a bibliometria e análise de conteúdo, fonte das informações para a construção do estado da arte acerca de modelos de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística.

2.2.1 Procedimentos da Revisão Sistemática de Literatura

Conforme abordado, uma revisão sistemática de literatura (RSL) foi proposta com o objetivo de analisar pesquisas que possam contribuir com conhecimentos para a proposição do modelo da presente pesquisa. O portfólio foi construído adotando as nove etapas propostas pela metodologia *Methodi Ordinatio*, atualizada por Pagani *et al.* (2022), conforme Figura 6, descritas na sequência.

Figura 6 – Procedimentos para definição do portfólio de artigos



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A *Methodi Ordinatio* foi desenvolvida com base no *Cochrane Collaboration Model*, porém se diferencia por ser uma metodologia aplicável a qualquer área de pesquisa e por se caracterizar como uma ferramenta multicritério de decisão, que se utiliza de três variáveis para ordenar um portfólio, sendo:

- Ano de publicação (PubYear): Variável identificada no próprio artigo;
- Fator de impacto (IF): Métrica que permite avaliar a relevância das revistas. Existem diferentes *reports* que avaliam o impacto dos *journals*, de diferentes instituições, como o *Journal Citation Reports (JCR)*, da Clarivate, o *Scientific Journal Rankings (SJR)*, da Scopus, o *CiteScore*, dentre outras; e
- Número de Citação (Ci): Métrica coletada no Google Scholar.

A atualização da *Methodi Ordinatio* utiliza-se também de três parâmetros que ponderam a importância dessas três variáveis, sendo:

- Δ : parâmetro de 0 a 10 que pondera a importância do Fator de Impacto (IF) do artigo;
- λ : parâmetro de 0 a 10 que pondera a importância do Ano de publicação (PubYear); e
- Ω : parâmetro de 0 a 10 que pondera a importância do número de citação (Ci) dos artigos.

A partir das três variáveis e de seus parâmetros de ponderação, aplica-se uma equação denominada de InOrdinatio 2.0, a qual realiza a ordenação do portfólio. Assim, a metodologia é baseada em nove etapas, descritas na sequência:

Etapas 1 e 2: Estabelecer intenção de pesquisa e realizar buscas preliminares. Nessas etapas foram feitas diversas buscas preliminares, com diferentes combinações de palavras-chave com o intuito de observar como o tema é tratado na literatura, permitindo também definir as combinações ideais.

Etapas 3 e 4: Definição das combinações de palavras-chave, bases de dados e execução da busca final. A partir das buscas exploratórias foram definidas 6 combinações de palavras-chave, que representem as necessidades da presente pesquisa, bem como as bases de dados que serão utilizadas. As bases de dados foram selecionadas devido ao número de retorno obtido. Assim, para que a busca final fosse realizada, foi necessário definir as configurações da busca, conforme:

- Busca nos campos: Título, Resumo e Palavras-Chave;
- Tipo de documento: Artigos e Revisões; e
- Sem delimitação temporal.

Assim, após definir as configurações, foi realizada a busca final, com o auxílio dos operadores booleanos disponibilizados nas bases de dados.

Etapa 5: Procedimentos de filtragem. Após a busca final, resultando em 39 artigos, foram realizados os procedimentos de filtragem. Essa etapa tem como objetivo eliminar artigos em duplicata, trabalhos publicados em congressos e conferências, livros e capítulos de livros, e eliminar artigos que não estão relacionados com a temática da presente pesquisa. Os resultados obtidos das etapas 4 e 5 foram, conforme Figura 7.

Figura 7 – Procedimentos para análise do portfólio de artigos

| Combinções de Palavras-chave | Scopus | Science Direct | Web of Science |
|---|--------|----------------|----------------|
| ("Warranty Optimiz*" OR "Warranty Cost Optimiz*" OR "Warranty Cost Management") AND ("vehicle" OR "automob*" OR "car") | 3 | 0 | 1 |
| ("Warranty Cost Model" OR "Warranty Model") AND ("vehicle" OR "automob*" OR "car") | 9 | 6 | 4 |
| ("Warranty Cost" OR "Warranty Management" OR "Warranty Diagnosis" OR "Warranty Model" OR "Warranty") AND ("dealer* deviation" OR "Deviation Detection" OR "dealer* detour") AND ("vehicle" OR "automob*" OR "car") | 0 | 0 | 1 |
| ("data filtering" OR "data management" OR "data cleaning" OR "data analysis") AND ("warranty cost" OR "warranty data") AND ("vehicle" OR "automob*" OR "car") | 7 | 0 | 3 |
| ("Warranty Cost" OR "Warranty Management" OR "Warranty Diagnos*" OR "Warranty Model" OR "Warranty") AND ("main factor*" OR "influenc* factor*" OR "influenc* relation*" OR "factor* influenc*") AND ("car" OR "automob*" OR "vehicle*") | 3 | 0 | 2 |
| Total | | 39 | |

| Procedimentos de Filtragem | Artigos Excluídos |
|---|-------------------|
| Exclusão de duplicatas | 14 artigos |
| Exclusão por tipo de document (Livros, Capítulos, Artigos de conferência) | 4 artigos |
| Exclusão por conteúdo (leitura Título, Resumo e/ou Artigo completo) | 4 artigos |
| Número de Artigos no Portfólio Final | 17 artigos |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Etapa 6: Coleta das variáveis para ordenação. Após filtrar o portfólio, foram identificadas as três variáveis necessárias para a ordenação. A atualização da metodologia disponibiliza uma planilha denominada de RankIn 2.0, a qual identifica de forma automática o ano de publicação (PubYear) dos artigos e o fator de impacto (IF) das revistas, e disponibiliza um *link* direto com o Google Acadêmico para a coleta do número de citação (Ci) de cada artigo.

Etapa 7: Ordenação do Portfólio. A partir da coleta das variáveis, foram definidos os valores dos três parâmetros de ponderação. Assim, foi definido o valor de 10 para os três parâmetros, visto que são consideradas relevantes as três variáveis para a ordenação. Após, foi aplicada a equação InOrdinatio (1). Com a aplicação da Equação 1, foi definido o portfólio ordenado, resultando no portfólio final ordenado, conforme Tabela 1 (Apêndice A).

$$InOrdinatio2.0 = \{(\Delta * (IF)) - \left[\lambda * \left(\frac{ResearchYear - PubYear}{CitedHalfLife} \right) \right] + \Omega * \left[\frac{Ci}{(ResearchYear+1) - PubYear} \right] \} \quad (1)$$

Etapas 8 e 9: Busca dos artigos e análises de conteúdo. Com a ordenação do portfólio por relevância científica, os artigos foram localizados e armazenados, para posterior coleta e análise, gerando informações úteis para a construção do modelo.

2.2.1.1 Análise do Portfólio

Os resultados das análises do portfólio foram apresentados no referencial teórico, na seção 3.4, acrescentando os conhecimentos específicos da literatura sobre gestão de garantia, modelos e outros fatores que influenciam na garantia do setor automobilístico. Assim, inicialmente foram feitas as análises bibliométricas do portfólio, com o intuito de contextualizar o portfólio, verificando a atualidade do tema, os países com maior interesse na temática, as revistas e escopos com maior número de publicação acerca da garantia, e, por fim, realizar a codificação automática, por meio do NVivo 12, *software* de análises de dados qualitativos, permitindo identificar as principais temáticas abordadas no portfólio e demonstrando a fragilidade da literatura na temática.

Na sequência, para a análise de conteúdo, foram mapeados os objetivos e metodologias adotadas no portfólio, para que posteriormente fossem analisadas as propostas de modelos de análise de custo de garantia, bem como, técnicas ou ferramentas de diagnóstico. Tal etapa permite que os conhecimentos gerados em outras pesquisas e literatura sejam adotados e aprimorados na proposição do modelo de gestão do custo de garantia, objetivo da presente pesquisa.

2.2.2 Construção do Modelo

A partir das leituras propostas no referencial teórico e da revisão sistemática, foram mapeadas as variáveis que influenciam na garantia, como as políticas de garantia, métricas mencionadas na literatura para a gestão dos custos, tipos de análises adotadas, atores envolvidos, benefícios e desafios, modelos e, por fim, dados e tecnologias adotadas no contexto. Os autores referência desses temas, com conhecimentos que foram base para a construção do modelo de gestão do custo de garantia da presente pesquisa, são: Mcneil e Miller (1980); Hotz *et al.* (2001); Suzuki, Karim e Wang (2001); Majeske (2007); Díaz *et al.* (2009); González-Prida e Crespo Márquez (2012); Huang, Chen e Ho (2013); Ambad e Kulkarni (2013); Wang e Xie (2018); Luo e Wu (2019); Mitra (2019) e Suzuki *et al.* (2020).

Após, foram estabelecidos os pilares que balizam o modelo proposto, sendo a gestão da qualidade e qualidade 4.0 (Q4.0), a melhoria contínua, a tomada de decisão baseada em dados e soluções automatizadas. A partir disso, foram

identificados os aspectos específicos de cada um desses pilares, que auxiliarão na proposição do modelo, bem como os autores referência, sendo:

- Gestão da Qualidade e Qualidade 4.0: quais as evoluções na área da gestão da qualidade, as técnicas e tecnologias inseridas, os resultados esperados para a gestão, os desafios e oportunidades, os modelos que balizam a Q4.0, e, por fim, outras ferramentas, técnicas e modelos que balizam a gestão da qualidade. Os principais autores dessa seção para o desenvolvimento do modelo foram: Jacob (2017); Sader *et al.* (2019), EFQM (2020); Sader *et al.* (2021); Antony *et al.* (2022); Tambare *et al.* (2022); Saihi *et al.* (2023); Maganga e Taifa (2023) e Antony *et al.* (2023).
- Melhoria contínua: tópico abordado nas ferramentas e modelos para a gestão da qualidade, sendo um dos pilares da qualidade, apresentando os modelos que apoiam esse conceito. Os principais modelos abordados e autores dessa seção para o desenvolvimento do modelo foram: PDCA, MASP e DMAIC, abordados por Slack *et al.* (2006); Carpinetti (2012) e Corrêa (2019).
- Tomada de decisão baseada em dados: a análise baseada em dados gera tomadas de decisão mais assertivas e rápidas, bem como uma gestão mais eficaz dos custos de garantia, coincidindo com os objetivos de soluções automatizadas, abordada pelos modelos de Q4.0. Os principais autores dessa seção para o desenvolvimento do modelo foram: Han (2005); Buddhakulsomsiri *et al.* (2006); Silvestre (2007); Evans e Lindner (2012); Labrinidis e Jagadish (2012); Marquesone (2016); Sharda, Delen e Turban (2019); Suzuki *et al.* (2020); Ferreira (2020); Brietzig (2022) e Hansen, Mowen e Heitger (2022).
- Soluções automatizadas: a automatização dos processos e soluções é um dos impulsionadores da Q4.0, que resulta em maior conformidade, maior qualidade, e gera soluções mais eficientes, proporcionando tomada de decisão mais rápida e assertiva, permitindo monitoramento e análises avançadas em tempo real, sendo outro pilar do modelo. Os principais autores dessa seção para o desenvolvimento do modelo foram: Jacob (2017); Sharda, Delen e Turban (2019); Tambare *et al.* (2022); Maganga e Taifa (2023); Antony *et al.* (2023); Prashar (2023) e Saihi *et al.* (2023).

Além dos conhecimentos específicos da garantia e dos pilares descritos, conceitos de gerenciamento de projetos, como o guia PMBOK®, foram adotados para a construção do modelo, visto que, o mesmo visa ser implementado e acompanhado

pelas organizações como um projeto a fim de tratar um problema, logo, com objetivo bem definido, com resultado único e prazos bem definidos (SLACK *et al.*, 2006; CARPINETTI, 2012; PMI, 2017).

Assim, a partir dos conhecimentos obtidos o modelo pode ser construído, inicialmente definindo as etapas dos modelos, para, posteriormente definir os procedimentos de cada etapa. A definição das etapas foi baseada em modelos de melhoria contínua, juntamente com modelos de gestão de projetos e modelos de análise de dados. Já os procedimentos de cada etapa foram definidos por meio da análise dos estudos referentes à garantia do setor automobilístico, visando tratar barreiras e aproveitar os benefícios, adotar as tecnologias e inovações da Q4.0, incentivar automatização, análise de dados e melhoria contínua.

2.3 Estudo de Caso: Procedimentos para a Aplicação do Modelo

O estudo de caso é um procedimento adotado com a finalidade de compreender o objeto de estudo, permitindo que o pesquisador defina objetivos, hipóteses, meios para coleta de dados, amostra, e gestão dos dados (LAKATOS; MARCONI, 2001). Assim, inicialmente caracteriza-se a indústria a qual o modelo será aplicado e posteriormente os procedimentos para a aplicação do modelo.

2.3.1 Caracterização da Indústria Alvo

O estudo de caso será realizado em uma das maiores fabricantes de veículos do mundo, a Renault, presente no mercado desde 1898, formando um grupo composto por quatro marcas complementares, que juntas propõem soluções inovadoras e sustentáveis para o mercado automobilístico. A marca francesa compõe a World's Leading Automotive Alliance, e foi considerada líder mundial em 2019, com 1 a cada 9 veículos vendidos no mundo (LÔ; DIOCHON, 2018).

A Renault trabalha em quatro principais áreas de inovação, com o intuito de promover a mobilidade do futuro, sendo a mobilidade elétrica, mobilidade conectada, mobilidade autônoma, e desenvolvimento de novos serviços de mobilidade. É composta por plantas, laboratórios, centros de engenharia e *design* distribuídos entre a Europa, África, Ásia, Oceania e América, distribuídos em 38 países, e conta com 34 fábricas, 3 centros de inovação, 6 centros técnicos e 133 representantes comerciais.

No primeiro semestre de 2022 o grupo obteve uma receita de 21,1 bilhões de euros, com a França, Brasil e Turquia representando os principais mercados da Renault.

Em 1998 foi inaugurado o *technocentre* em Guyancourt, na França, sendo o primeiro centro de Pesquisa e Desenvolvimento (R&D) automotivo da Europa, realizando projetos e desenvolvimento de veículo, motores e caixa de câmbio para o Grupo e para a Aliança, contando com quase 11 mil funcionários em 2018. No mesmo ano, um complexo da Renault foi estabelecido no Brasil, tornando-se uma das principais fábricas do grupo na América do Sul. Atualmente, a Renault conta com quatro fábricas na América Latina, com diferentes atividades em cada uma.

Assim, o presente estudo de caso visa aplicar o modelo de gestão do custo de garantia inicialmente na Renault Brasil, permitindo validar o modelo bem como solucionar o problema identificado pela indústria, para que, posteriormente, a solução seja replicada para outras plantas LATAM, sendo Argentina, Colômbia e México, auxiliando a organização a atingir metas relacionadas à redução de custos de garantia.

2.3.2 Procedimentos para a Aplicação do Modelo de Gestão do Custo de Garantia na Renault Brasil

A aplicação do modelo foi guiada pelas etapas e procedimentos propostos pelo modelo de gestão do custo de garantia, desenvolvido na presente pesquisa.

A definição do objetivo do projeto, problema a resolver, equipe de trabalho e interessados do projeto, bem como a coleta de outras informações necessárias, como acerca da política de garantia, foram realizadas por meio de entrevistas e análise documental. As entrevistas foram realizadas, inicialmente, com o representante do projeto por parte da organização, bem como com a equipe estabelecida pelo representante, para delimitar o escopo do projeto, e, posteriormente, entrevistas com responsáveis de diferentes setores foram realizadas, de forma virtual e presencial, no Brasil e *Guyancourt*, na França, a fim de coletar dados e informações necessárias ao longo da aplicação do modelo. Além das reuniões, análises dos documentos que balizam a garantia LATAM, abordando a Política, a Gestão e Controle e as Regras de Provisão, disponibilizados no ambiente virtual do Grupo, foram analisados, com o intuito de coletar informações necessárias para a aplicação do modelo.

As entrevistas e a análise documental permitiram extrair conhecimentos necessários para a aplicação do modelo, para a compreensão da política adotada,

para o mapeamento do processo de garantia, e para a identificação de pessoas chave para as etapas do modelo.

Além disso, para que o modelo fosse aplicado, foi necessário realizar alguns treinamentos para o acesso e coleta de dados, relacionado a confidencialidade dos dados, segurança cibernética, dentre outros.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

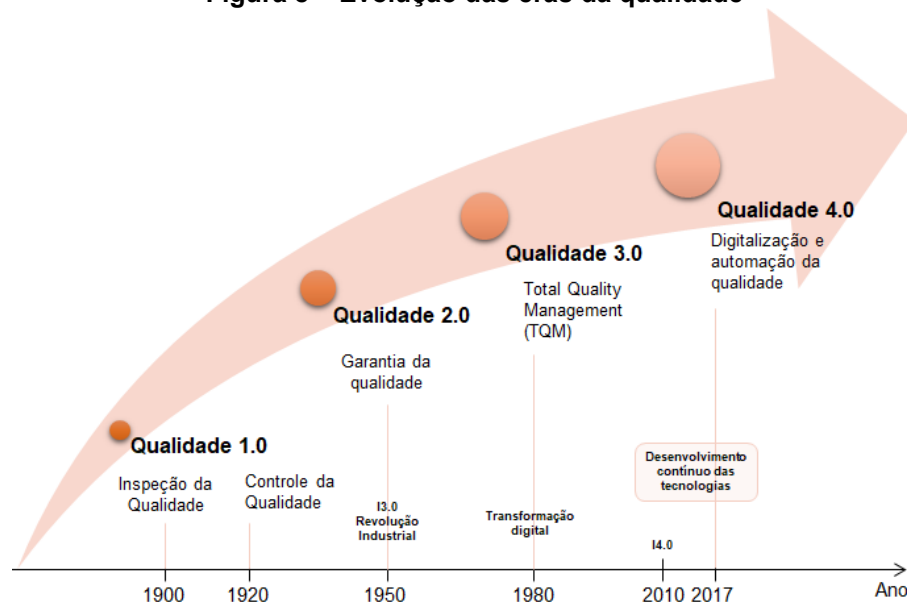
Essa seção está reservada a discorrer acerca das principais temáticas abordadas no presente estudo, permitindo sua melhor compreensão.

3.1 Gestão da Qualidade

Crosby (1984) define qualidade por meio da conformidade com os requisitos. Já Juran (1988) define que a qualidade é percebida quando o produto ou serviço é desenvolvido considerando as necessidades dos clientes. Embora por anos as definições de qualidade tenham focado somente nas características físicas do produto (LOBO, 2019; OLIVEIRA, 2020), Carpinetti (2012) afirma existir diversas formas de conceituá-la, sendo como satisfação dos clientes a forma predominante dos últimos anos.

A qualidade passou por algumas evoluções, descritas em quatro eras da qualidade (GARVIN, 1988; OLIVEIRA, 2020; SOUZA, 2020; SOUZA *et al.*, 2021; SADER *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023), conforme ilustrado na Figura 8 e descritas na sequência.

Figura 8 – Evolução das eras da qualidade



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A Qualidade 1.0 (Q1.0) ficou marcada por ser orientada ao produto, com o objetivo de garantir que todos os produtos atendam às especificações, excluindo defeituosos. Para isso, se apoia no uso de inspeção e controle estatístico de qualidade e de processo (SADER *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2022). Essa Era apresentou desafios

relacionados aos custos associados ao retrabalho de defeituosos e a contratação de profissionais específicos para inspeção (CARVALHO *et al.*, 2020).

A segunda era da qualidade (Q2.0) ficou conhecida como Garantia da Qualidade (*Quality Assurance*). Surgiu com a revolução industrial, tendo como foco a garantia de processos padronizados, mantendo o nível de qualidade dos produtos, verificando se os processos fornecem produtos sem defeitos (ANTONY *et al.*, 2023). Embora a Q2.0 tenha superado os desafios da Q1.0, ela não era adotada por toda a organização, não permitindo uma visão holística do todo (CARVALHO *et al.*, 2020).

Assim, surgiu a Qualidade 3.0 (Q3.0), conhecida como a era da TQM (*Total Quality Management*), orientada à empresa. Essa apresenta como finalidade garantir que todas as atividades da organização sejam alinhadas a fim de satisfazer as necessidades e requisitos dos clientes, enfatizando a melhoria contínua, a produtividade, a padronização e a eficiência (LIU *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023). A TQM supera o desafio da falta de visão holística da Q2.0, juntamente com a adoção de normas como a ISO 9001, integrando toda a organização por meio de princípios de liderança, gerenciamento de fornecedores, programas de melhoria contínua, participação de funcionários, dentre outros. Entretanto, a adoção de auditorias trouxe um novo desafio, a demora e atraso da gestão da qualidade, não permitindo soluções e tomadas de decisão rápidas (CARVALHO *et al.*, 2020).

Os avanços tecnológicos constantes, gerados pela I4.0, impulsionaram a quarta era da qualidade, denominada Qualidade 4.0 (Q4.0), a qual deixou de ter como foco a eliminação de defeituosos ou monitoramento de processos para uma visão mais integrada, promovendo monitoramento intensivo de todas as atividades que contribuam para a cadeia de valor, com atividades de predição, inspeção automatizada, análise avançada de dados, aprendizado adaptativo, correções autoinduzidas, resultando em um gerenciamento da qualidade e tomada de decisão baseados em dados (SADER *et al.*, 2021; SAIHI *et al.*, 2023). Essa evolução se deu por meio de conceitos como digitalização, predição, personalização em massa e gestão da qualidade inteligente (LIU *et al.*, 2022). A Q4.0 é a era mais recente e tecnologicamente avançada, conforme discutido na seção seguinte.

3.1.1 Qualidade 4.0

A quarta revolução industrial, gerada pelo avanço de tecnologias, como *Information and Communications Technology* (ICT) e *Internet of Things* (IoT), deu

origem a Indústria 4.0 (I4.0), transformando diversos setores por meio do aumento da digitalização e da automação (TAMBARE *et al.*, 2022). A necessidade de se alinhar a gestão da qualidade com a evolução guiada pela I4.0 deu origem a Qualidade 4.0 (Q4.0), gerando eficiência, inovação e modelos de negócios aprimorados de alto desempenho (ANTONY *et al.*, 2022; SAIHI *et al.*, 2023).

De acordo com Liu *et al.* (2022), a Q4.0 é um conceito emergente, que ocupa cada vez mais espaço devido à aspectos como a crescente exigência e complexidade do mercado consumidor, a concorrência e a evolução tecnológica. De acordo com Maganga e Taifa (2023), as publicações acerca da Q4.0 se iniciaram em 2016, com crescimento de publicações ao longo dos anos, mas, embora seja um tema em alta, os autores abordam não haver uma definição clara, universalmente aceita (SHRIVASTAV, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023). Assim, algumas das definições utilizadas são, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Definições da Qualidade 4.0

| Definição |
|---|
| A Q4.0 baseia-se na digitalização do gerenciamento da qualidade, que impacta na tecnologia da qualidade, nos processos e nas pessoas (JACOB, 2017). |
| É o alinhamento das práticas de gerenciamento da qualidade com os recursos emergentes da I4.0, que por meio da digitalização dos processos, resulta em melhor gestão dos custos, do tempo e da eficiência, aumentando a qualidade do produto (LIU <i>et al.</i> , 2022). |
| Trata-se da digitalização da qualidade (TAMBARE <i>et al.</i> , 2022). |
| Aplicação da automação e digitalização, com o uso de ferramentas digitais para gerenciar a qualidade, resultando em vantagem competitiva para as organizações, melhorando a experiência do cliente e aumentando a lucratividade (ANTONY <i>et al.</i> , 2023). |
| É o futuro da qualidade, sendo a combinação entre qualidade e a I4.0, gerando vantagem competitiva, aumentando a satisfação do cliente e a lucratividade (SHRIVASTAV, 2023). |
| É uma abordagem moderna de gestão da qualidade que se baseia na aplicação de tecnologias emergentes, integração e digitalização, provenientes da I4.0 (MAGANGA; TAIFA, 2023). |
| Baseia-se na aplicação de tecnologias da I4.0, como <i>Cyber Physical Systems</i> (CPS) e <i>Internet of Things</i> (IoT), dentre outras, para atender os requisitos de qualidade das indústrias em termos de <i>design</i> , desempenho e conformidade (SAIHI <i>et al.</i> , 2023). |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Conforme abordado por Jacob (2017), a Q4.0 não surgiu com a finalidade de substituir os métodos tradicionais de qualidade, mas sim para somá-los. Em suma, pode ser compreendida como a combinação de tecnologias do setor 4.0 com as ferramentas e métodos de qualidade tradicionais, incorporando fatores humanos, digitalização e automação, resultando em um desempenho superior de gerenciamento da qualidade, maior conformidade, satisfação do consumidor, bem como maior lucratividade.

Assim, evidencia-se a ligação entre a Q4.0 e a I4.0 por meio da adoção de tecnologias do setor 4.0. Conforme Liu *et al.* (2022) e Antony *et al.* (2022), os benefícios da Q4.0 são provenientes da I4.0, ao proporcionar a aplicação de sistemas de monitoramento contínuo e em tempo real dos processos e produção, dos sistemas de previsão de defeitos e análise preditiva, do controle da qualidade inteligente, por meio do uso de sensores e outras tecnologias. Assim, algumas das tecnologias do setor 4.0 aplicáveis na gestão da qualidade, mencionadas por Radziwill (2018), Liu *et al.* (2022) e Maganga e Taifa (2023), dentre outros autores, são conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Tecnologias do setor 4.0 aplicáveis à Q4.0

| Tecnologia | Descrição e Aplicação |
|---|--|
| <i>Big Data Analytics (BDA)</i> | Big Data (BD) permite a coleta de dados em tempo real, criando relacionamentos entre dados distintos, sendo caracterizado pelos 5 Vs, sendo: volume, variedade, velocidade, veracidade e valor. Por meio da análise de Big Data (BDA), a organização pode compreender as necessidades dos clientes, prever demandas e, suprir as necessidades no momento certo, identificando relacionamentos ocultos de diferentes variáveis, que dificilmente seriam encontrados por ferramentas tradicionais. |
| <i>Internet of Things (IoT)</i> | Conectar dispositivos, sensores, máquinas, dentre outros elementos (“things”) à internet. |
| <i>Artificial intelligence (AI)</i> | Máquinas e robôs que imitam o comportamento humano. Por meio da AI é possível prever as necessidades dos consumidores com precisão e gerenciar toda a cadeia de suprimentos, tomando decisões complexas. |
| <i>Machine learning (ML)</i> | As máquinas tomam decisões baseadas em dados, aprendendo sem a necessidade de serem programadas. |
| <i>Deep Learning (DL) and Neural Networks</i> | Utilizados para criar previsões e reconhecimento de padrões complexos. |
| <i>Cyber-Physical Systems (CPS)</i> | Integrar computadores e processos físicos, sendo um componente chave da I4.0 |
| <i>Cloud Computing</i> | Uma rede de servidores distantes localizados na internet para gerenciar, armazenar e processar dados e informações. |
| <i>Additive Manufacturing</i> | Processos de manufatura totalmente automatizados, produzindo objetos 3D (impressora 3D). |
| <i>Autonomous Robots</i> | Robôs que se utilizam de processo de sinal, unidade de controle e IIoT para tomada de decisão com velocidade e precisão. |
| <i>Augmented Reality (AR)</i> | Tecnologias digitais que permitem simular percepções sensoriais nos humanos. Somente a análise de dados e os resultados não são suficientes nesse contexto da Q4.0, mas também a forma como os resultados são apresentados aos interessados, assim, a AR é usada para enriquecer essa atividade. |
| <i>Virtual Reality (VR)</i> | Tecnologia que permite imergir os usuários em um mundo artificial. |
| <i>Cyber Security</i> | Medidas para promover segurança no fluxo de dados na rede. |
| <i>Smart Sensors</i> | A utilização de sensores permite tomada de decisão mais rápida e assertiva, como no uso para detecção e inspeção de defeituosos para a população completa. Permitem identificar, monitorar e coletar todos os tipos de dados das matérias-primas, do processo e dos produtos acabados, viabilizando a análise para prever problemas de qualidade e requisitos de manutenção. |

| Tecnologia | Descrição e Aplicação |
|------------------------------|--|
| <i>Blockchain technology</i> | Monitoramento permanente para assegurar que as transações ocorram quando os requisitos de qualidade forem atendidos. Aumenta a segurança permitindo a rastreabilidade, especialmente quando as cadeias de suprimentos são profundas e versáteis, contribuindo para a qualidade dos dados, confiança e desenvolvimento da cultura de qualidade. |
| <i>Cognitive computing</i> | Uso de modelos digitais para imitar o pensamento humano, por meio de tecnologias como AI e ML. |
| <i>Quantum computing</i> | Dispositivos computacionais que armazenam e manipulam informações por meio da dinâmica de objetos em escala atômica |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A implementação das tecnologias 4.0 na gestão da qualidade geram inúmeros benefícios, conforme abordado por diferentes autores, tornando-se motivadores para sua adoção:

- Melhoria da eficiência e produtividade, por meio da aplicação de IoT, *Cyber-Physical System* (CPS) e automação, gerando melhoria dos processos de qualidade (ANTONY *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023; PRASHAR, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);
- Melhora na qualidade dos produtos, com uso do *big data* e análise de dados para identificar problemas de qualidade e tomar medidas corretivas, gerando vantagem competitiva e melhoria contínua (ANTONY *et al.*, 2022; PRASHAR, 2023; SAIHI *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023);
- Melhora a qualidade dos dados, análise dos dados, bem como a confiabilidade dos dados (ANTONY *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023; PRASHAR, 2023);
- Redução de custos da qualidade, por meio da IoT e *big data*, permitindo identificar problemas de forma rápida, reduzindo custos de correção dos problemas (ANTONY *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023; PRASHAR, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);
- Tomada de decisão mais rápida e assertiva, aumentando a capacidade de resposta devido à detecção precoce de defeitos, acelerando os tempos de ciclo de produção e lançamento (ANTONY *et al.*, 2022; LIU *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023; PRASHAR, 2023);
- Melhora na segurança fabril e dos trabalhadores, com uso de robôs colaborativos e sensores aplicados aos processos (MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);

- Fornecimento de ferramentas de big data (MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023);
- Melhora na transparência e visibilidade das operações de manufatura, por meio da rastreabilidade, por exemplo (MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023);
- Aumento da satisfação do cliente (ANTONY *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; PRASHAR, 2023);
- Controle de qualidade otimizados e maior flexibilidade (ANTONY *et al.*, 2022; SAIHI *et al.*, 2023);
- Promove monitoramento remoto e inspeção virtual (MAGANGA; TAIFA, 2023);
- Auxilia na análise preditiva (MAGANGA; TAIFA, 2023);
- Gera redução de desperdícios (MAGANGA; TAIFA, 2023); e
- Maior capacidade de inovação (PRASHAR, 2023).

Para que sejam adotados os conceitos, tecnologias e estratégias do setor 4.0 na qualidade, algumas habilidades e requisitos são discutidos na literatura. Antony *et al.* (2022) abordaram como habilidades necessárias do futuro profissional da qualidade o conhecimento em ciência de dados, análise de dados, estatística, manufatura, programação, aprendizado e otimização; e outras habilidades, como trabalho em equipe, comunicação, habilidades em gerenciamento de projetos e tendo capacidade de usar e compartilhar relatórios de qualidade que permitam uma tomada de decisão rápida (ANTONY *et al.*, 2023).

Radziwill (2018), Antony *et al.* (2022), Antony *et al.* (2023) e Maganga e Taifa (2023) abordaram alguns requisitos necessários para uma adoção da Q4.0 bem-sucedida, como treinamento, comprometimento e mão de obra qualificada, infraestrutura adequada, internet de alta velocidade, políticas e estratégias que apoiem a digitalização, ter gerenciamento de dados e segurança cibernética, capacidade de lidar com big data, investimentos financeiros, compromisso da alta gerência, liderança, alinhar estratégia a objetivos, cultura organizacional voltada para a Q4.0, foco no cliente e no fornecedor, e, por fim, conhecimento e conscientização sobre a Q4.0 e as tecnologias da I4.0.

Para a adoção da Q4.0 bem-sucedida, alguns desafios e barreiras deverão ser enfrentados, como:

- Alto custo para implementação (ANTONY *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);

- Falta de conhecimento da estratégia, da definição e dos benefícios (ANTONY *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);
- Cultura organizacional não voltada para a Q4.0, falta de apoio da alta gerência e resistência à mudança (ANTONY *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);
- Falta de recursos humanos capacitados e qualificados (ANTONY *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023);
- Dificuldades na integração de tecnologias operacionais e de informação e de sistemas (MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023).
- Falta de recursos e investimento financeiro (ANTONY *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023);
- Segurança cibernética e privacidade dos dados (MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023); e
- Desafios regulatórios e legais (MAGANGA; TAIFA, 2023).

Assim, conclui-se que há uma evolução na gestão da qualidade, atingido seu ápice na Qualidade 4.0, que promove a integração de toda a cadeia de valor, desde os fornecedores aos clientes, com o apoio da automatização e digitalização, propostos pela implementação de tecnologias disruptivas e inovadoras do setor 4.0. Nesse contexto, assim como os conceitos evoluem, os modelos que balizam a qualidade também evoluem. Assim, alguns modelos existem a fim de balizar a implementação da Q4.0, conforme apresentado na seção seguinte.

3.1.1.1 Modelos da Qualidade 4.0

Existem cinco modelos referência que balizam a Q4.0, sendo eles:

- i. *European Foundation for Quality Management 2020 model* (EFQM, 2020):

O modelo EFQM teve sua primeira versão em 1991, sendo reconhecido como um modelo que auxilia as organizações a gerenciar mudança e melhorias no desempenho. Em 2020 o modelo foi atualizado, abrangendo I4.0, TQM e sustentabilidade, a fim de promover tanto desempenho como transformação, conforme Figura 9 (FONSECA, 2021).

Figura 9 – EFQM Model



Fonte: EFQM (2020)

De acordo com a revisão de Fonseca (2021), o modelo tem como característica ser um modelo de negócios integrado, holístico e atualizado, que incorpora a necessidade de gerenciar o presente tendo em mente o futuro, respondendo aos desafios e oportunidades da constante mudança dos negócios. O modelo é baseado em três dimensões, Direção; Execução e Resultados, 7 critérios e 25 subcritérios, destinados a responder três perguntas, “Por quê?”; “Como?” e “O quê?” (EFQM, 2020).

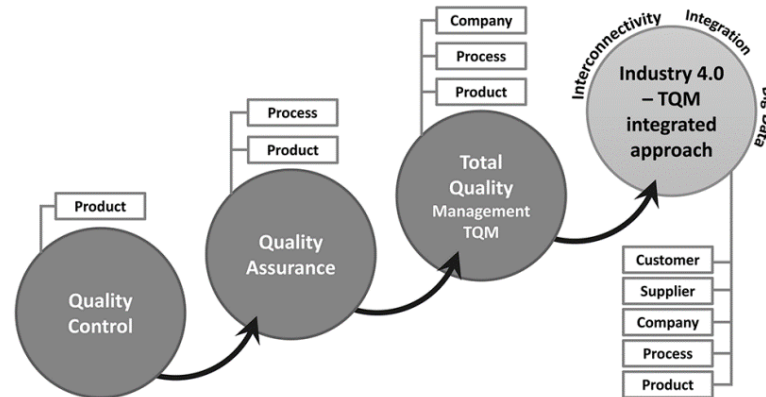
Por ser um modelo genérico e não prescritivo, necessita ser complementado com os detalhes da organização que irá aplicá-lo (FONSECA, 2021). De acordo com Maganga e Taifa (2023), o modelo abrange temas da I4.0, do TQM e da sustentabilidade, porém, apresenta algumas fragilidades, como não mencionar explicitamente os pilares fundamentais da I4.0, podendo gerar problemas para as estratégias orientadas para transformação tecnológica e de negócios.

ii. *TQM in the framework of the industry 4.0 model* (SADER *et al.*, 2019):

De acordo com Sader *et al.* (2019), a I4.0 é um facilitador essencial para a TQM. Assim, o *framework* proposto apresenta as eras da qualidade até atingir a abordagem integrada entre TQM e I4.0, com essa centrada em interconectividade,

integração e Big Data, com as expectativas dos clientes e a análise do mercado comunicadas diretamente aos sistemas de produção, e com a qualidade controlada por meio de sensores inteligentes e análise de falhas (SADER *et al.*, 2019; MAGANGA; TAIFA, 2023), conforme Figura 10.

Figura 10 – TQM in the framework of the industry 4.0 model



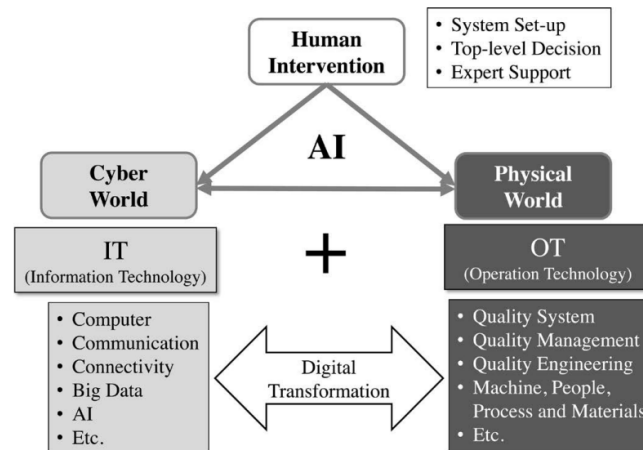
Fonte: Sader *et al.* (2019)

A integração ocorre entre as máquinas, que são conectadas e inteligentes, e permitem a previsão, planejamento, e personalização de produtos sem interferir nos prazos das linhas de produção. Conectar os fornecedores, para receber atualizações sobre níveis de estoque, permite atender demandas no momento correto. Nesse contexto, os sistemas ERP permitem planejar e conectar todas as áreas do negócio, de forma integrada. Com isso, tem-se um custo de qualidade minimizado, visto que ocorrem detecções inteligentes de falhas e previsões antecipadas (SADER *et al.*, 2019). De acordo com Maganga e Taifa (2023), embora o *framework* seja amplo, o mesmo não apresenta explicações detalhadas.

- iii. *Quality 4.0 framework combining IT and OT through digital transformation* (LIM, 2019):

A Qualidade 4.0 é uma combinação de Tecnologias da Informação (*Information Technology* - IT) e Tecnologias de Operação (*Operation Technology* - OT), conforme Figura 11, que interligam sistemas cibernéticos e máquinas, por meio da intervenção humana, permitindo que humanos trabalhem com maior eficiência, tomando decisões de alto nível que promovem o controle eficiente, robusto e confiável dos sistemas (LIM, 2019).

Figura 11 – Quality 4.0 framework combining IT and OT through digital transformation



Fonte: Lim (2019)

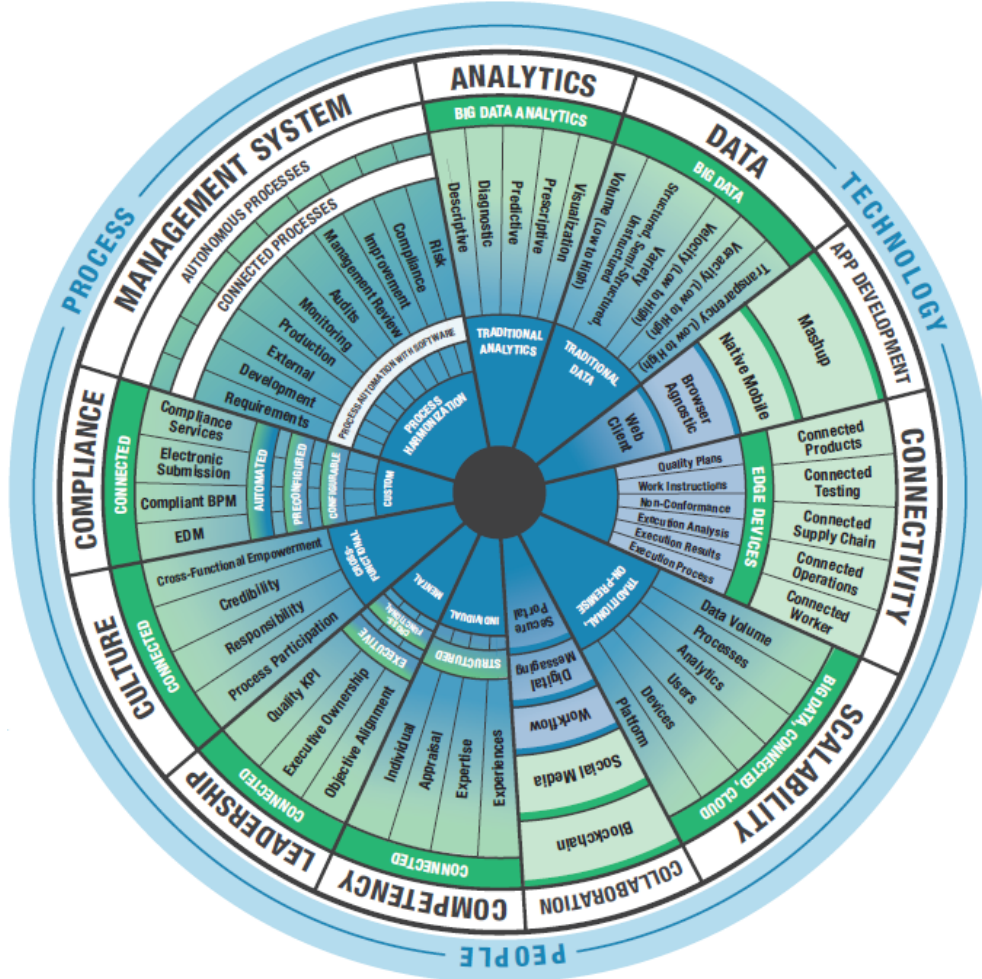
De acordo com o autor, o gerenciamento da qualidade tradicional apresenta um atraso em relação ao produto e seus dados de qualidade, problema esse tratado na evolução do sistema de gerenciamento da qualidade que se baseia em dados em tempo real, tecnologias do setor 4.0 e digitalização.

Com essa transformação digital, há a possibilidade de gestão em tempo real, permitindo controle de máquinas em tempo real, gestão e análise de big data, uso da Inteligência Artificial conectando e controlando todo o sistema, dentre outras aplicações. Conforme Lim (2019), a Q4.0 não pode ser representada somente por tecnologias, mas pela maximização de valor da qualidade gerado pelas implementações do setor 4.0, interligando toda a cadeia de valor.

iv. *LNS research quality 4.0 model* (JACOB, 2017):

O LNS desenvolveu uma estrutura que permite que as empresas implementem a Q4.0 (TAMBARE *et al.*, 2022), estabelecendo 11 eixos, que auxiliam as organizações a educar, planejar e agir (JACOB, 2017), conforme Figura 12.

Figura 12 – LNS research quality 4.0 model



Fonte: Jacob (2017)

Os eixos auxiliam no aprimoramento dos métodos de qualidade tradicionais afim de atingir maior eficiência por meio da digitalização. Nesse processo, as organizações devem identificar seu estado atual e identificar as mudanças necessárias para atingir um estado futuro de qualidade (JACOB, 2017). Assim, os 11 eixos propostos pelo modelo LNS são, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 – 11 eixos da Qualidade 4.0

| Descrição |
|---|
| Data: Permite a visibilidade em tempo real dos dados da qualidade, a coleta e análise de dados, provenientes de diversas fontes, considerando suas características de volume, variedade, velocidade, veracidade e transparência, de forma rápida e eficiente, permitindo tomada de decisão rápida e assertiva (JACOB, 2017; TAMBARE <i>et al.</i> , 2022). Dentre as atualizações para a Era mais evoluída da qualidade está a inserção da big data. |
| Analytics: Permite transformar dados em informações úteis para tomada de decisão. Existem quatro categorias de análises de dados, sendo análises descritivas, diagnósticas e preditivas, que são realizadas em gestão da qualidade tradicional, e a análise prescritiva, que realiza análises baseadas em ML e AI. |
| Connectivity: O gerenciamento da qualidade usualmente fica ao encargo da tecnologia da informação (TI), enquanto a execução da qualidade está no domínio da tecnologia operacional (TO). Assim, o desafio é integrar a TI e a TO. Nesse contexto, a I4.0 é um aliado, transformando a |

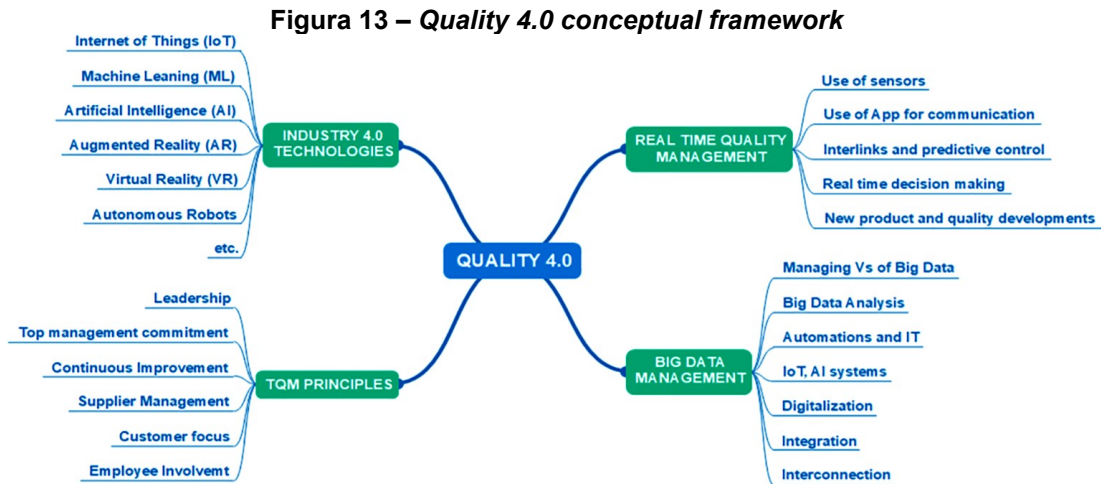
| Descrição |
|--|
| conectividade tradicional por meio de sensores de baixo custo, que promovem a coleta de <i>feedbacks</i> em tempo real das pessoas, dos produtos, dispositivos e processos. |
| Collaboration: A colaboração é fundamental para a gestão da qualidade, sendo um impulsionador da inovação. Dentre as mudanças, a inserção de mídias sociais que permitem contato mais próximo com o mercado consumidor, aumentando a visibilidade dos problemas de qualidade. Outra tecnologia implementada nesse sentido é a <i>blockchain</i> , que permite rastreabilidade e segurança dos dados. Assim, faz-se necessário que os líderes descubram formas de colaborar, compartilhando dados de forma segura. |
| App development: Os aplicativos são ferramentas que auxiliam na colaboração e conexão de usuários e organizações, permitindo coleta de dados e <i>feedbacks</i> para melhoria da qualidade (TAMBARE <i>et al.</i> , 2022). Fornecedores de tecnologia evoluíram, disponibilizando aplicativos móveis que podem ser executados em <i>smartphones</i> , melhorando a experiência do usuário. Essa mobilidade permite maior participação, acessibilidade, adoção e eficiência. |
| Scalability: É a capacidade de lidar com volume de dados, usuários, dispositivos e análises em escala global. Nesse contexto, a <i>Cloud Computing</i> é uma aliada, ao qual fabricantes podem unir em nuvem softwares de serviço, recursos e usuários, dados, análises, dispositivos sem a necessidade de gerenciar o software no local, permitindo soluções acessíveis globalmente e de alta disponibilidade. |
| Management systems: São essenciais para fornecer soluções escaláveis, sendo um hub para a automatização de fluxos de trabalho, conectar processos, melhorar a qualidade dos dados, fornecer análises centralizadas, promover conformidade e colaboração em um aplicativo comum. Um dos desafios mencionados para adoção de tecnologias da qualidade é a fragmentação dos processos centrais. A fim de se ter uma gestão da qualidade alinhada à Q4.0, os fabricantes necessitam automatizar e conectar os processos a outros sistemas, aproveitando dos níveis de análise para melhorar continuamente a autonomia do sistema. |
| Compliance: Os requisitos de conformidade são fundamentais para equipes de qualidade, para que a liderança assuma o papel de guiar os processos, pessoas, e cadeia, em direção a esses requisitos, utilizando, para isso, o suporte tecnológico. Algumas adaptações foram realizadas, ao longo dos anos, a fim de aumentar a flexibilidade e reduzir o custo associados às implementações iniciais e futuras atualizações. A Q4.0 representa uma oportunidade para melhorar ainda mais o processo de conformidade, automatizando-a. Modelos de dados integrados de IT/OT e a tecnologia <i>blockchain</i> podem ser aliados. |
| Culture: Quatro elementos-chave são esperados em uma organização que apresenta uma cultura de qualidade: a participação no processo, responsabilidade, credibilidade e capacitação. Na Q4.0 a cultura de qualidade é facilitada por meio de melhor conectividade, visibilidade, <i>insights</i> compartilhados e colaboração. |
| Leadership: A função qualidade apresenta uma lacuna frente ao restante da organização, muitas vezes vista como um departamento sem alinhamento claro com o sucesso corporativo. A falta de alinhamento entre os objetivos e iniciativas da qualidade com os objetivos estratégicos organizacionais é um dos motivos para tal lacuna. Nesse processo, os líderes da qualidade devem liderar a qualidade em toda a organização. |
| Competency: Competência diz respeito à quão eficaz e eficiente foi realizada uma atividade. A melhoria da competência básica vêm sendo foco das organizações, por meio de sistemas de gerenciamento de aprendizagem, com treinamentos, certificações, e desenvolvendo conhecimentos especializados, visto que, as habilidades e conhecimentos dos funcionários ditam o sucesso da organização. O modelo LNS menciona quatro abordagens da Q4.0 que líderes podem se utilizar para melhorar a competência, sendo: Experiência; Especialização, desenvolvendo novos conhecimentos especializados; Avaliação, para regular a ação de funcionários; e Gestão, incluir esses aprendizados em sistemas de gerenciamento de aprendizagem para melhorar treinamentos. |

Fonte: Jacob (2017)

De acordo com Maganga e Taifa (2023), o modelo LNS, com seus 11 eixos, é amplo e complexo, mas não oferece um caminho claro para a transição entre qualidade tradicional e Q4.0 para as organizações.

v. *Quality 4.0 conceptual framework* (MAGANGA; TAIFA, 2023):

A partir de uma revisão acerca da Q4.0 e seus modelos, Maganga e Taifa (2023) propuseram um *framework* conceitual da Qualidade 4.0, baseado nas teorias existentes e nas deficiências identificadas nos modelos estudados, conforme Figura 13.



Fonte: Maganga e Taifa (2023)

Os autores definem como quatro principais pilares os princípios da TQM, as tecnologias da I4.0, o gerenciamento de big data e o gerenciamento da qualidade em tempo real.

Conforme Lobo (2019), embora a evolução do conceito tenha ocorrido de forma gradual, não se pode considerar a última como a melhor, e adotar somente o que considera cabível. Assim, embora a Q4.0 seja a versão mais atual da qualidade, existem outros modelos e ferramentas que são referência para sua gestão, baseados em conceitos como de melhoria contínua, redução de desperdícios, dentre outros aspectos, conforme explorado na seção seguinte.

3.1.2 Ferramentas e modelos para a gestão da qualidade

Existem diferentes ferramentas, técnicas e modelos que balizam a qualidade, e apoiam o sistema de gestão. Essas ferramentas foram desenvolvidas ao longo dos anos e vêm sendo aprimoradas de modo a sustentar a gestão da qualidade nas empresas (SILVA *et al.*, 2021). Essa gestão baseia-se em diferentes pilares, como melhoria contínua, foco no cliente, visão de processos, visão sistêmica, liderança, envolvimento, dentre outros (CARPINETTI, 2012).

A partir dos pilares, diferentes ferramentas e modelos podem ser adotados. Quando se aborda a melhoria contínua, são adotados, dentre outros, o ciclo PDCA,

MASP, e quando se acrescenta a ideia de custos da qualidade, visando aumentar a satisfação dos consumidores, adota-se o DMAIC.

O ciclo PDCA é o método mais genérico para a obtenção da melhoria contínua, chamado também de ciclo *Deming-Shewhart*, em homenagem a W. Edwards Deming e Walter Shewhart (CARPINETTI, 2012). O ciclo surgiu na década de 20, e baseia-se em quatro etapas, Planejar, Executar, Verificar e Agir (*Plan, Do, Check, Act*, em inglês), sendo cada etapa responsável por, conforme Carpinetti (2012) e Corrêa (2019):

- Planejamento: inclui a identificação do problema, das causas raízes, e o planejamento das soluções;
- Execução: abrange as atividades de treinamento e capacitação para posterior execução das atividades planejadas;
- Verificação: abrange as atividades para verificar os resultados atingidos das tarefas executadas; e
- Ação: atua sobre os desvios observados a fim de corrigi-los, e, se necessário, planejar as ações para melhoria e reiniciar o PDCA.

De acordo com Silva *et al.* (2021), depois de aplicado, o ciclo PDCA torna-se um ciclo constante na organização em busca de melhoria contínua.

Outra ferramenta mencionada para a melhoria contínua é o MASP, Método de Análise e Solução de Problemas. O modelo baseia-se em nove etapas, que podem ser relacionadas ao PDCA (CARPINETTI, 2012), conforme Figura 14.

Figura 14 – Método MASP em relação ao PDCA

| PDCA | FLUXOGRAMA | FASE | OBJETIVO |
|------|------------|---------------------------|--|
| P | 1 | Identificação do Problema | Definir claramente o problema e reconhecer sua importância |
| | 2 | Observação | Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista |
| | 3 | Análise | Definir as causas fundamentais |
| | 4 | Plano de ação | Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais |
| D | 5 | Ação | Bloquear as causas fundamentais |
| C | 6 | Verificação | Verificar se o bloqueio foi efetivo |
| | 7 | BLOQUEIO FOI EFETIVO??? | |
| A | 8 | Padronização | Prevenir contra o reaparecimento do problema |
| | 9 | Conclusão | Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro |

Fonte: Carpinetti (2012)

Conforme observado, o MASP é o ciclo PDCA apoiado por outras ferramentas da qualidade para auxiliar na busca por soluções (CORRÊA, 2019). Como exemplo,

a etapa 1 pode ser apoiada por ferramentas como Diagrama de Pareto, Carta de Controle, Folha de Verificação, dentre outras; a etapa 2 pode ser apoiada por Carta de Controle, a etapa 3 pode ser apoiada em *brainstorm* e o 5W2H, e assim por diante.

Por fim, a última ferramenta aqui abordada para a melhoria contínua é o DMAIC. Bob Galvin, em 1987, desenvolveu o programa Seis Sigma, que tinha como preceitos o aumento da satisfação do consumidor, e a redução/extinção de defeitos, aproximando-se do “zero defeito”. O programa deve ser adotado em todas as áreas, nos produtos e processos, por meio de medições estatísticas, como desvios-padrão/variabilidade, e melhoria na eficiência e eficácia.

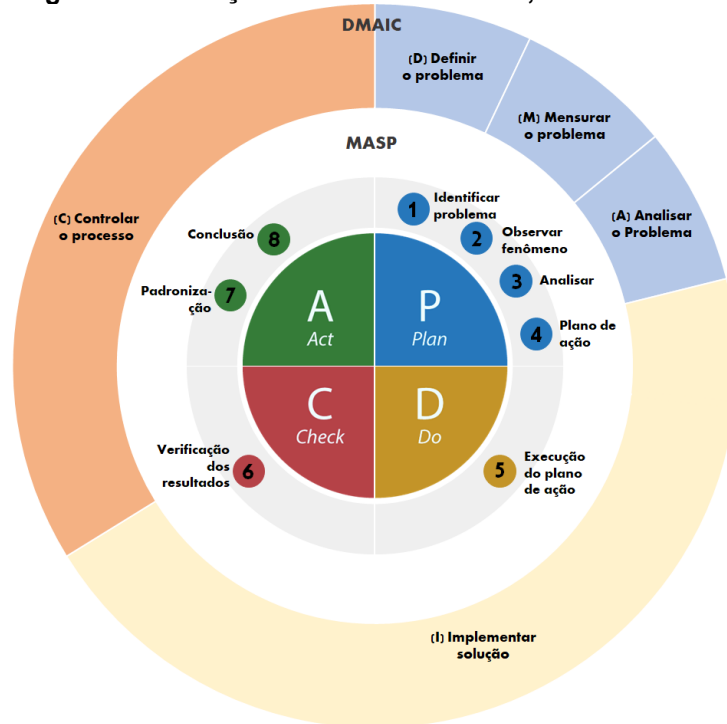
Nesse contexto, o DMAIC, sendo suas etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*, em inglês) é um método do Seis Sigma, que o sistematiza em fases. Conforme Corrêa (2019), suas etapas são responsáveis por:

- Definir: visa caracterizar o escopo do projeto;
- Medir: visa observar as condições atuais do problema, identificando as causas potenciais, priorizando-as,
- Analisar: visa estudar as causas dos problemas prioritários;
- Melhorar: são propostas, avaliadas e implementadas as soluções para os problemas prioritários; e
- Controlar: são adotadas as medidas a fim de garantia a manutenção dos resultados.

Assim como no MASP, diferentes ferramentas podem ser aplicadas nas etapas do DMAIC, como exemplo, o mapeamento de processos e o diagrama de causa e efeito podem ser adotadas nas fases definir, medir e analisar; o diagrama de Pareto pode ser adotado nas fases definir e medir; o teste de hipótese pode ser adotado para analisar e melhorar; já o gráfico de controle pode ser adotado para analisar, melhorar e controlar (CARPINETTI, 2012).

De acordo com Carpinetti (2012), o DMAIC apresenta as mesmas etapas do MASP, sendo então um método PDCA estruturado de outra forma. Já Corrêa (2019) diferencia o DMAIC ao identificar que este dá maior ênfase na etapa de planejamento, conforme relação ilustrada na Figura 15.

Figura 15 – Relação dos métodos PDCA, MASP e DMAIC



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Carpinetti (2012) menciona que a melhoria contínua se desenvolve por meio de cinco etapas, sendo: identificar o problema, observar e coletar os dados, analisar e buscar causas-raízes, planejar e implementar ações, e verificar os resultados. Para apoiar no desenvolvimento dessas ações, diversas ferramentas são mencionadas, dentre elas, as sete ferramentas para melhoria e controle da qualidade, adotadas, grande parte das vezes, por meio do levantamento de ideias e opiniões na equipe (*brainstormings*). As sete ferramentas são, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Sete ferramentas da qualidade

| Ferramenta | Descrição |
|----------------------------|---|
| Estratificação | Divisão de um grupo em diversos grupos baseado em características distintas ou de estratificação. Essa ferramenta permite identificar como a variação dessas características influenciam no processo ou problema investigado, sendo um recurso útil na fase de análise e observação dos dados. |
| Folha de Verificação | Método para organizar dados em forma de quadro, tabela ou planilha, de modo a facilitar a coleta e análise dos dados. Gera economia de tempo por meio de formulários planejados, evitando necessidade de desenhos e registrar números repetitivos. |
| Diagrama de Pareto | De acordo com adaptação do diagrama para a qualidade, proposta por Juran, a maior parte das perdas são geradas por alguns poucos problemas, conhecido como regra do 80/20. Ordena as causas em função de suas frequências, resultando em uma priorização dos problemas para análise. É composto por um gráfico de barras, ordenando a frequência das ocorrências em ordem decrescente. Assim, permite demonstrar o impacto das causas, permitindo selecionar o ponto de partida para solução do problema. |
| Diagrama de Causa e Efeito | Também conhecido como “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa, ferramenta que auxilia os gestores e identificar as possíveis causas e efeitos de um determinado problema, representando a relação entre o problema e suas possíveis causas. Um |

| Ferramenta | Descrição |
|-----------------------|---|
| | grupo de trabalho identifica o problema ou efeito a ser tratado e a partir disso são identificadas a lista das possíveis causas, classificando-as em 6 categorias: método, matéria-prima, mão de obra, máquinas, medição e meio ambiente. |
| Histograma | Ferramenta estatística que representa a distribuição dos dados em relação a frequência, ou dos intervalos em relação a determinados grupos, permitindo visualizar a forma que um conjunto de dados se distribuem, e a identificação visual do valor central e da dispersão em torno do valor central. |
| Diagrama de Dispersão | Também conhecido como diagrama de correlação, permite visualizar o relacionamento entre duas variáveis, uma cause e um efeito, por meio de um cálculo r . Essa correlação pode ser positiva (r próximo de 1), negativa (r próximo de -1), ou inexistente, quando há ausência de correlação ($r = 0$). Quanto mais próximo de zero, menor a força de correlação. |
| Gráfico de Controle | Método estatístico para controle da qualidade desenvolvido por Walter A. Shewhart. É utilizado com o objetivo de identificar tolerâncias naturais dos processos, envolvendo o registro cronológico de características das amostras, sendo registrado em um gráfico com uma linha central e dois limites, superior e inferior, permitindo avaliar as variabilidades do processo em comuns (dentro dos limites) e especiais (fora dos limites de controle, alterando média e desvio-padrão). A partir da identificação dessas causas especiais, é possível atuar para eliminá-las. Esse método apresenta dois mecanismos mais conhecidos, sendo os gráficos de controle por variáveis, quando as amostras podem ser representadas por dados quantitativos, podendo utilizar gráficos da média e da amplitude, da mediana e da amplitude e de valores individuais e da amplitude, e os gráficos de controle por atributos, quando as características não podem ser traduzidas em números, podendo utilizar-se de gráficos p (controle da proporção de defeitos por amostra); np (controle do número de unidades defeituosas por amostra); c (controle do número de defeitos por amostra); e u (controle do número de defeitos por unidade de produto). |

Fonte: Corrêa (2009), Carpinetti (2012), Paladini et al. (2012) e Silva et al. (2021)

Conforme discutido, a avaliação e gestão da qualidade podem ser realizadas por meio de diferentes modelos, ferramentas e técnicas, entretanto, essas avaliações devem ser acompanhadas de métricas econômicas, que permitem a perspectiva de qualidade vinculada ao custo do seu ciclo de vida (CARPINETTI, 2012).

Mensurar os custos é essencial para a sobrevivência das organizações, e a compreensão dos custos da qualidade permite determinar a eficácia do sistema de qualidade, gerando diversos benefícios, além de ser fonte de vantagem competitiva (CROSBY, 1999; KAU; NEL, 2019; ALSADA; KUMAR, 2022; GIANG; PHUONG, 2022). Assim, os custos da qualidade serão abordados na seção a seguir.

3.1.3 Custos da Qualidade

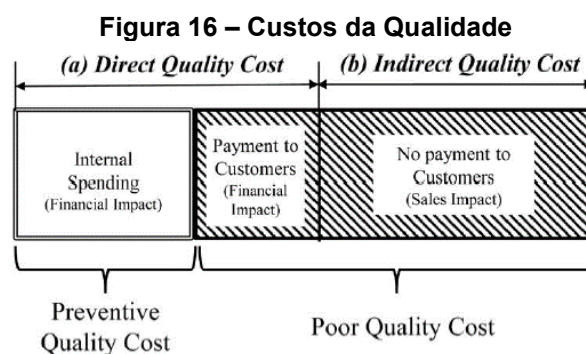
Qualidade é a característica do produto ou serviço que cumpre com os requisitos do projeto e do mercado, e a ausência dela gera custos. A má qualidade gera grandes impactos na receita e nos lucros das empresas, e além de gerar custos diretos, geram atrasos, reduz as vendas, e exigem muito mais de sistemas de suporte ao cliente (KAU; NEL, 2019). A má qualidade é rapidamente percebida pelo

consumidor, gerando inúmeras consequências negativas (GIANG; PHUONG, 2022). Dessa forma, é fundamental que as organizações tenham capacidade de mensurar seus custos, permitindo ponderar o custo-benefício de se obter ou aumentar a qualidade (CARPINETTI, 2012).

O conhecimento dos custos auxilia gerentes justificarem investimentos em processo de melhoria contínua, permite avaliar os impactos de diferentes atividades, bem como auxilia na minimização de erros associados aos custos (KAU; NEL, 2019). Sendo assim, medir e avaliar os custos da qualidade (*Cost of Quality – CoQ*) deve ser prioridade de gestores que buscam competitividade por meio da qualidade. Assim, organizações atentas às métricas de CoQ alcançam maior qualidade, confiabilidade e desempenho, acarretando menores custos de falhas (ALSADA; KUMAR, 2022).

Entretanto, esses custos podem apresentar diferentes entendimentos ou interpretações de acordo com os departamentos da empresa, o que dificulta a integração ou compartilhamento de informação. Como exemplo, a contabilidade visualiza o custo direto de qualidade, aqueles descritos no livro-razão, já os vendedores se preocupam também com os custos indiretos da qualidade (LIM, 2019).

Assim, diferentes abordagens do custo de qualidade foram desenvolvidas ao longo dos anos, assim como diferentes composições desse custo. Conforme Lim (2019) não se gera valor de qualidade sem investimentos em qualidade, sendo assim, faz-se necessário compreender do que é composto esse custo. Crosby (1999) abordam os custos de qualidade sendo a soma de custos para obtenção da conformidade e de custos para lidar com as não conformidades. Em outras palavras, Lim (2019) define o custo de qualidade como a soma dos custos provenientes da má qualidade e das atividades preventivas, sendo o primeiro representado por custos relativos a falhas de qualidade, interna ou externa, e o segundo oriundos de atividades para prevenir a má qualidade, conforme representado na Figura 16.



Fonte: Lim (2019)

Lim (2019) classifica esses custos em custos diretos da qualidade e custos indiretos da qualidade. Os custos diretos da qualidade são aqueles descritos nas demonstrações financeiras da organização. Esse custo pode ser representado por custos direto da má qualidade e por custos preventivos da qualidade, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Composição dos custos diretos da qualidade

| Custo Direto da Má Qualidade | Custo Preventivo da Qualidade |
|--|---|
| Custo oriundo da má qualidade de produtos, não atendendo às expectativas dos consumidores, sendo eles internos, detectadas antes da venda do produto para o consumidor, ou externos, detectadas pelo consumidor final. Esse custo pode ser resultado de sistemas, projetos, fornecedores ou fabricação ruins, e são pagos pela organização após a detecção de falhas ou não conformidades, na forma de reivindicação de garantia, por exemplo. | São custos diretos a fim de garantir que somente produtos ou serviços aceitáveis sejam enviados ao consumidor final, sendo custos incorporados nos processos, gastos para evitar problemas que podem vir a ser um custo direto de má qualidade. Quando uma organização investe em processos produtivos/sistema de gestão da qualidade mais robusto, o custo direto de má qualidade diminuirá. Assim, à medida que o custo preventivo aumenta, o custo direto de má qualidade diminui. |

Fonte: Lim (2019)

Já os custos indiretos da qualidade não são representados no livro-razão, ou seja, a empresa não os paga diretamente. Entretanto, esses custos impactam nas vendas e na receita da organização, com os consumidores absorvendo-os sem reivindicá-los, seja por não cobertura da garantia, ou por prazo de garantia encerrado. Esses custos representam perdas para os consumidores, de tempo, de dinheiro e estresse, e acabam se tornando um custo para a organização por meio da insatisfação e não recomendação por parte do consumidor, gerando redução das vendas, não intenção de recompra e má reputação do produto e da marca, baixando seu valor (LIM, 2019). Conforme o autor, os custos indiretos da qualidade podem ser classificados em visível e invisível, conforme Quadro 8:

Quadro 8 – Descrição dos custos indiretos visíveis e invisíveis

| Custo Indireto Visível e calculável | Custo Indireto Invisível |
|--|--|
| Custo pago pelo cliente devido ao mau funcionamento, desempenho ruim, qualidade percebida ruim. Dentre esses custos estão o de deslocamento, de tempo e de reparos pós-garantia. | Custo de difícil cálculo, representado pela perda de produtividade do cliente, representando perdas para o cliente, seja pela inatividade do produto ou devido ao estresse físico e psicológico causado pela má qualidade. |

Fonte: Lim (2019)

Conforme Kau e Nel (2019), existem alguns métodos para coletar os custos da qualidade, dentre eles o modelo *Prevention-Appraisal-Failure* (PAF), de British Standard Institute (1990), sendo um modelo que permite visualizar o equilíbrio entre custos de prevenção, avaliação e custos de falha, visando atingir o nível ideal de

qualidade. O PAF é um dos modelos amplamente divulgados e implementados (FULI *et al.*, 2015), tendo seus grupos de custos descritos conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Custos de Prevenção, Avaliação e de Falhas

| Custos | Descrição |
|--------------------|---|
| Custo de Prevenção | São gastos na tentativa de reduzir custos da má qualidade, projetando produtos com durabilidade superior, treinando funcionários, selecionando fornecedores com capacidade para suprir as demandas com qualidade, realizando manutenções dos equipamentos e implementando processos para gerar melhoria contínua. |
| Custo de Avaliação | São os custos de inspeção e teste de matéria prima, produtos e processos, realizando auditorias e controle estatístico de processos. |
| Custo de Falhas | Custos com falhas internas são gerados quando o defeito é percebido antes do produto ser entregue ao consumidor final. Esses custos podem ser representados por rejeição de produtos defeituosos, retrabalho, baixa produtividade devido a falhas em máquinas ou erros de funcionários. Geralmente, esses custos de falhas internas representam uma porcentagem maior que os custos de prevenção e avaliação, visto que, o produto finalizado abrange também os custos de matéria prima e mão de obra empenhados. Já os Custos de falhas externas são aqueles descobertos posteriormente à entrega do produto ao cliente. Esse representa o custo de qualidade mais caro, gerados pela devolução, reparos, reclamação de garantia, impacta na reputação da marca e do produto, gera perda de clientes, dentre outros fatores negativos. |

Fonte: Fuli *et al.* (2015); Kau e Nel (2019) e Giang e Phuong (2022)

O PAF auxilia as organizações a identificarem a contribuição de cada custo da qualidade para o custo total, permitindo priorizar áreas e custos que necessitam mais atenção (KAU; NEL, 2019). Grande parte dos estudos que abordam o modelo PAF concluem que o aumento de investimentos em prevenção irá gerar gradualmente uma redução em custos de avaliação, o que resultará na redução de custos com falhas internas e externas (ALSADA; KUMAR, 2022), ideia também abordado por Slack (1993), que aborda que custos de prevenção e de detecção são na verdade investimentos que são amortizados no tempo, e que resultam em redução de custos da não qualidade.

Considerando os custos de falhas externas, sendo as percebidas pelos consumidores, está o custo de garantia. Conforme classificação de Lim (2019), reivindicações de garantia são classificados como custos direto da má qualidade, caracterizando-se como uma despesa para a organização após percepção de falha ou não conformidade por parte do consumidor final, impactando negativamente na reputação das organizações, sendo necessário uma melhor gestão destes custos.

No contexto das automobilísticas globais, de alta qualidade, o custo de garantia representa 1% da receita total de vendas. Porém, ao incluir os custos de má qualidade, esse valor pode chegar a 10% da receita total de vendas, demonstrando

que investimentos em atividades preventivas de qualidade tornam-se justificáveis frente ao impacto do custo indireto de má qualidade (LIM, 2019). Diante do impacto que esse custo pode gerar para a lucratividade das organizações, evidencia-se a importância de um bom gerenciamento da garantia e de seus custos. Assim, a seção seguinte está reservada a apresentar os principais aspectos da oferta de garantia, como os tipos de garantia, a forma de gestão da garantia, e, por fim, abordando a oferta de garantia para a indústria automobilística, sendo o setor alvo da presente pesquisa.

3.2 Oferta de Garantia

Com o crescimento da competitividade global, aliado ao avanço das tecnologias e da análise de dados, o modo de operação das organizações vem mudando, tornando-as cada vez mais orientadas para a satisfação dos consumidores (WANG; XIE, 2017; HANSEN; MOWEN; HEITGER, 2022). Nesse cenário, o serviço de pós-vendas torna-se essencial para a sobrevivência e competitividade no mercado, sendo a garantia o fator mais importante desse serviço (WANG; XIE, 2017), sendo ofertada, atualmente, em grande parte dos produtos (MITRA, 2019).

De sua origem até os dias atuais, a oferta de garantia passou por diversas mudanças conceituais, sendo vista hoje como uma apólice de seguro, um investimento do comprador para reduzir o risco de falha precoce (MURTHY; DJAMALUDIN, 2002). Conforme Buddhakulsomsiri *et al.* (2006), por mais que uma organização tenha altos padrões de qualidade, a deterioração por uso ocorre, sendo um processo natural, proveniente do uso, que pode ser acelerado por fatores como modo de uso e qualidade das vias (PAGANI; PILATTI, 2006).



Além de ser um acordo contratual entre fabricante e consumidor, a garantia assegura ao comprador que o produto ou serviço irá funcionar conforme o vendido e informado, estabelecendo responsabilidade entre as partes (BLISCHKE; MURTHY, 1996; DIMITROV; CHUKOVA; KHALIL, 2004; KARIM; SUZUKI, 2005; WU, 2012; MITRA, 2019). Além disso, a garantia estipula o modo de funcionamento esperado, os serviços inclusos na garantia e as cláusulas do contrato entre consumidor e vendedor (KARIM; SUZUKI, 2005; MURTHY, 2006), sendo o vendedor o fabricante, o distribuidor, o provedor do serviço, ou outro responsável por assumir a garantia do produto (BLISCHKE; MURTHY, 1996).

Ela é válida por um período pré-determinado, a partir da obtenção do produto ou serviço, adotando medidas técnicas, administrativas e outras, a fim de restabelecer sua integridade, ou seja, permitir que o produto desempenhe a função esperada (DÍAZ *et al.*, 2009), realizando reparos, substituições ou reembolso para o cliente (WANG; XIE, 2017).

Uma evolução na oferta de garantia é a possibilidade de garantia estendida. A decisão de estender o período de garantia é difícil para o consumidor, visto que ele não tem a capacidade de ponderar se o custo extra para a obtenção dessa garantia excederá os custos de reparos no período caso não contrate a garantia. Na ótica do fabricante, essa garantia é vantajosa somente quando seu preço excede os custos de prestação de serviços para o atendimento dos sinistros no período, sendo assim, o preço para a obtenção dessa modalidade de garantia é uma variável fundamental para o comprador e para o fabricante (BOUGUERRA; CHELBI; REZG, 2012).

Na visão do fornecedor, o custo de garantia é representado pelo preço pago pelo número de falhas que necessitam de reparos ou trocas, durante o período contratual da garantia (ISAACSON *et al.*, 1991; DIMITROV; CHUKOVA; KHALIL, 2004; LU; CHIANG, 2008). Já no ponto de vista do consumidor, a garantia é uma segurança, mas também uma fonte de informação acerca da confiabilidade e durabilidade do produto (BLISCHKE; MURTHY, 1996). Assim, verifica-se que a oferta de garantia pode gerar vantagens e desvantagens nas percepções dos compradores e vendedores, conforme resumido na Figura 17.

Figura 17 – Vantagens e desvantagens da garantia na visão dos compradores e vendedores

| |  COMPRADORES |  VENDEDORES |
|---------------------|---|---|
| VANTAGENS | <ul style="list-style-type: none"> - Auxilia na tomada de decisão do consumidor - Promove maior segurança ao consumidor - Atribui responsabilidade entre as partes | <ul style="list-style-type: none"> - Estratégia de marketing para aumento de vendas - Aumento de competitividade - Incentivo para aumento de confiabilidade/ qualidade - Incentivo para aumento de manutenções preventivas - Indicador da qualidade da organização - Assegura o fornecedor da não necessidade de cobertura quando não satisfeitas as condições de uso por parte do consumidor |
| DESvantagens | <ul style="list-style-type: none"> - Aumento do custo do produto | <ul style="list-style-type: none"> - Risco para os custos da organização - Indicador da qualidade da organização - Atribui responsabilidade aos fornecedores - Necessidade de controle e gestão efetivas dos custos (demanda recursos) |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, a oferta de garantia pode tornar-se fator decisivo no momento da compra, fornecendo informações indiretas sobre a qualidade da organização e do produto, sendo uma importante ferramenta para influenciar o mercado, e uma aliada

dos consumidores na escolha dos produtos (DIMITROV; CHUKOVA; KHALIL, 2004; WU; XIE, 2008; WU, 2012; MITRA, 2019).

Melhores garantias podem impactar positivamente nas vendas, mas também acarretam custos e riscos adicionais aos fabricantes (ISSACSON *et al.* 1991; HADEL; LAKEY, 1993; WU; XIE, 2008). O aumento do custo de garantia eleva o custo do produto, o que impacta também nas vendas e conseqüentemente nos lucros da organização. Assim, decisões devem ser tomadas no início do desenvolvimento do produto acerca da confiabilidade esperada para o projeto e o preço desejado (MURTHY; BLISCHKE, 2008), sendo a confiabilidade uma questão técnica, que impacta na qualidade do produto, e conseqüentemente, no custo de garantia (MURTHY, 2006).

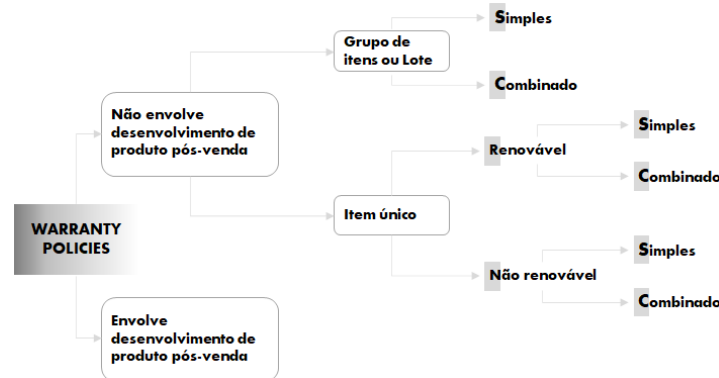
Assim, garantia e confiabilidade são duas variáveis de decisão importantes, e devem ser consideradas no planejamento de um produto, de modo integrado. A confiabilidade varia ao longo do ciclo de vida do produto. Durante a etapa inicial do projeto, por exemplo, é avaliada por meio da confiabilidade das peças e componentes isolados (MURTHY, 2006). Assim, considerar a questão de confiabilidade permite definir os limites aceitáveis para produção, possibilitando também planejar os custos, identificando o quanto a organização pode absorver de garantia. Essa informação é essencial, visto que o custo de garantia esperado por unidade é uma informação necessária para atribuir o preço de venda do produto (MURTHY; BLISCHKE, 2008).

Além do planejamento da confiabilidade do produto, outros fatores impactam o custo de garantia, como a definição da política de garantia, conforme discutido a seguir.

3.2.1 Tipos de Garantia

Diferentes tipos de produtos apresentam diferentes tipos de garantia (MURTHY, 2006; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012). Murthy e Blischke (1992) apresentam o trabalho pioneiro a abordar a taxonomia do custo de garantia. Os autores apresentam um esquema para representar os tipos de garantia, conforme Figura 18.

Figura 18 – Políticas de Garantia



Fonte: Adaptado de Murthy e Blischke (1992)

A primeira divisão da política de garantia é em relação a garantias que envolvem ou não o desenvolvimento de produtos pós-venda, a fim de promover melhorias ou aumentar confiabilidade. As políticas que não envolvem o desenvolvimento adicional, se subdividem em políticas aplicáveis a venda de item único e o segundo a venda de grupo de produtos, ou vendas em lote. Para políticas de itens únicos existem duas formas, a renovável, a qual a garantia é renovada a cada vez que um item é substituído, ganhando uma nova garantia idêntica à inicial, ou sem renovação, a qual o item substituído assume o tempo restante de garantia original (WU; XIE, 2008). Por fim, a última classificação abordada é a de garantia simples ou combinada, sendo que a garantia combinada é a junção de uma simples com outros recursos, ou a combinação de duas ou mais apólices simples (MURTHY E BLISCHKE; 1992; 2008).

Blischke e Murthy (1996) e Murthy (2006) caracterizam os tipos de garantia, considerando que produtos novos, vendidos individualmente e não-reparáveis podem obter o reembolso total, denominado de *Lump-Sum Rebate*; já substituição do item de falha por outro idêntico é denominada de *Free Replacement Warranties* (FRW); a substituição à um custo reduzido, em função do valor do serviço até o momento da falha, e considerando o tempo de serviço do produto, é conhecida como *Pro-Rata Warranties* (PRW); podendo também existir a combinações entre os modos anteriores.

González-Prida e Crespo Márquez (2012) abordam que para produtos comerciais adquiridos em volume, aplica-se garantia a frota ou ao grupo de produtos. Para produtos customizados utiliza-se a *Reliability Improvement Warranty* (RIW). Também, existe a discussão acerca da cobertura dos tipos de garantia, podendo

cobrir mão de obra e peças, apenas peças, peças e mão de obra por um período, dentre outras combinações (MURTHY, 2006).

Todos os tipos de políticas de garantia podem ser do tipo unidimensional (1D) ou bidimensional (2D). A 1D baseia-se no tempo de uso ou na idade do item, e a 2D é baseada no tempo ou idade e no uso, sendo um exemplo de garantia bidimensional um automóvel com garantia de 3 anos e limite de quilometragem, com a garantia expirando quando um dos limites for atingido primeiro (MURTHY; BLISCHKE, 1992; 2008).

Murthy e Blischke (1996) abordam os tipos de garantia, em função das variáveis W (período de garantia), C (preço de venda do produto) e X (tempo até a falha, ou tempo de vida de um item). Alguns dos tipos de políticas unidimensionais são, conforme Quadro 10.

Quadro 10 – Políticas de garantia unidimensional (1D)

| Parâmetros | Descrição |
|---|---|
| <i>Free-Replacement Warranty</i> (FRW): Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a substituir ou reparar item defeituoso sem custo, até um período W da compra inicial, com a garantia expirando em W pós-venda. |
| <i>Rebate Free-Replacement Warranty</i> (FRW), política de reembolso de substituição: Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar uma quantia do custo de venda, se o produto falhar durante o período da garantia. |
| <i>Rebate Free-Replacement Warranty</i> (FRW), devolução do dinheiro: Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar o valor total do custo de venda, se o produto falhar no período da garantia. |
| <i>Pro-Rata Rebate Warranty Policy</i> (PRW) - Política de reembolso <i>Pro-Rata</i> : Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar uma quantia do custo, dependendo da idade do produto quando ocorre a falha, podendo ser uma função linear ou não linear, se o produto falhar antes do tempo da garantia, e o comprador não é obrigado a comprar um produto de substituição. |
| <i>Linear Pro-Rata Warranty</i> (PRW): Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar um montante de $[(W-X) / W] * C$, quando a falha ocorrer antes do fim do período de garantia. Política normalmente ofertada a produtos mais baratos e não reparáveis, como baterias, cerâmicas, dentre outros. |
| <i>Proportional Linear Pro-Rata Warranty</i> (PRW): Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar um montante de $[\alpha * (W - X) / W] * C$, com $0 < \alpha < 1$, quando a falha ocorrer antes do fim do período de garantia. Política normalmente ofertada a produtos mais baratos e não reparáveis, como baterias, cerâmicas, dentre outros. |
| <i>Non Linear Pro-Rata Warranty</i> (PRW): Unidimensional, garantia simples não renovável | O fornecedor se responsabiliza a reembolsar um montante de $[(W-X) / W]^2 * C$, alternativa a qual o abatimento diminui mais rapidamente, quando a falha ocorrer antes do fim do período de garantia. |

| Parâmetros | Descrição |
|--|---|
| <i>Combination FRW/PRW:</i> Unidimensional, garantia combinada não renovável | O fornecedor se responsabiliza a substituir ou reparar item defeituoso sem custo, até o W_1 da compra inicial, e qualquer falha ocorrida entre W_1 e W (com $W_1 < W$) resulta em um reembolso proporcional, podendo ser <i>Linear</i> ou não <i>Linear</i> , não havendo a renovação da garantia. |
| <i>Three-Stage Warranty:</i> Unidimensional, garantia combinada não renovável | O fornecedor se responsabiliza a substituir ou reparar item defeituoso sem custo, até o W_1 da compra inicial, a um custo C_1 , se o período que a falha ocorrer X estiver entre e qualquer falha ocorrida entre $(W_1$ e $W_2]$, e a um custo C_2 , se falha ocorrer em período X em intervalo $(W_2, W]$, com $0 < W_1 < W_2 < W$ e $C_1 < C_2$, com a garantia expirando no período W . |
| <i>Multistage Rebate Warranty:</i> Unidimensional, garantia combinada não renovável | Esse tipo de garantia segue os preceitos da <i>Three-Stage Warranty</i> , diferenciando-se por ter possibilidade de inserir novos períodos W , até W_k e um parâmetro multiplicador do $C(X)$, o α , que representa a proporção do custo em função do período de falha, sendo que o valor do α aumenta durante os intervalos de k tempos. |
| <i>Combination Lump-Sum Rebate Warranty:</i> Unidimensional, garantia combinada não renovável | O reembolso do valor obedece a função $\alpha_k C$ para falhas ocorridas no período W_1 do período da compra inicial, até $\alpha_k C$, com a falha ocorrendo antes do $(W_{k-1}, W]$, com $1 \geq \alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_k > 0$. |
| <i>Rebate Combination FRW/PRW:</i> Unidimensional, garantia combinada não renovável | O fornecedor se responsabiliza a substituir ou reparar item defeituoso sem custo, até o W_1 da compra inicial, e qualquer falha ocorrida entre W_1 e W (com $W_1 < W$) resulta em um reembolso <i>Pro-Rata</i> , não havendo a renovação da garantia. |

Fonte: Adaptado de Murthy e Blischke (1996)

Murthy e Blischke (1996) também discorrem sobre políticas de garantia bidimensionais, bem como Wang e Xie (2017), que realizam uma extensa revisão acerca destas, conforme Quadro 11.

Quadro 11 – Políticas de garantia bidimensional (2D)

| Parâmetros | Descrição | Representação Gráfica |
|---|---|-----------------------|
| <i>2D non-renewing Free-Replacement Warranty (FRW) policy:</i> Área retangular | Esse tipo de acordo é ofertado por quase todos os fabricantes de automóveis. Nesse tipo de acordo o fabricante se responsabiliza a substituir ou reparar item defeituoso sem custo, até um limite de idade W e limite de uso U , o que ocorrer primeiro, do momento da compra inicial. Nesse tipo de política, a região de garantia real maior é para clientes com uso médio, já para clientes com uso leve ou pesado as regiões são menores (WANG; XIE, 2017). Essa política apresenta a representação gráfica em área retangular, conforme explorado por (MAJESKE, 2007). | |
| <i>2D non-renewing Free-Replacement Warranty (FRW) policy:</i> Área em L | Também está entre as políticas 2D mais abordadas, porém, no mundo real é difícil de ser encontrada. Nessa política o fabricante se compromete a fornecer reparos, substituições ou reembolsos até um limite de tempo W e até um limite de uso cumulativo U , o que ocorrer por último, a partir da compra inicial. Nesse tipo de política há a garantia que a cobertura ocorrerá pelo menos até W unidades de tempo e U unidades de uso, sendo vantajosa para clientes com uso leve e pesado, visto que, para clientes de uso pesado a garantia cessa devido ao limite de | |

| Parâmetros | Descrição | Representação Gráfica |
|---|--|------------------------------------|
| | tempo W com a utilização muito além de U , e para clientes de uso leve a garantia cessa devido ao limite de uso W , com um uso de tempo W muito além (WANG; XIE, 2017). | |
| <i>2D non-renewing Free-Replacement Warranty (FRW):</i> Área em escada | Pode ser vista como a <i>L-shaped</i> , porém com um limite de tempo $W > W_1$ e limite de uso $U > U_1$. Nesse tipo de política, o fabricante se compromete a fornecer reparos, substituições ou reembolsos até um limite de tempo W_1 da compra inicial, com o uso total na falha menor que U , e até um limite de tempo W com o uso menor que U_1 . É uma política atraente para grande parte dos consumidores, mas também, ao contrário da forma em L, os limites W e U protegem o fabricante de arcar com reivindicações excessivas de garantia (WANG; XIE, 2017). | |
| <i>2D non-renewing Free-Replacement Warranty (FRW):</i> Área triangular | Essa política é representada na forma de um triângulo, e o fabricante se compromete a fornecer reparos, substituições ou reembolsos para todas as falhas ocorridas dentro da área da garantia (WANG; XIE, 2017). | |
| <i>2D non-renewing Pro Rata Warranty (PRW) policy</i> | Nesse tipo de política, o fornecedor se compromete a arcar com parte dos custos de substituição ou reparo, ou reembolsar parte do valor original, quando ocorrer falha dentro do prazo de garantia. A fração coberta é em função do tempo e/ou uso na falha. Exemplo de aplicação desse tipo de garantia é em pneus de automóveis (WANG; XIE, 2017). | Permite todas as opções anteriores |
| <i>2D non-renewing Combination Warranty (CW) policy</i> | Política pouco abordada, a qual o fabricante se compromete a arcar com reparos, substituições ou reembolsos até um limite de tempo W_1 e uso U_1 , enquanto outras falhas fora dos limites são substituídas a um custo proporcional (WANG; XIE, 2017). | |

Fonte: Adaptado de Wang e Xie (2017)

Conforme Wang e Xie (2017), normalmente são aplicadas garantias fixas, não considerando as preferências do cliente na escolha da garantia. Porém, considerando que um produto pode ter diferentes padrões de uso, bem como existem diferentes necessidades de clientes, a disponibilidade de diferentes tipos de garantia faz-se um diferencial, originando a garantia flexível, mencionado pela primeira vez por Moskowitz e Chun (1994). Conforme os autores, na garantia flexível o consumidor pode escolher, dentre as opções disponível, o plano de garantia que mais se adequa a sua necessidade, pelo mesmo valor de garantia.

Assim, verifica-se que existem diversas políticas de garantia, e combinações entre elas, sendo necessário a seleção mais adequada ao uso. Murthy e Djameludin (2002) discutem que a má gestão dos custos de garantia representa um risco que pode afetar os custos operacionais totais da organização, e Díaz *et al.* (2009) criticam

que a gestão da garantia não está no centro dos processos decisórios nas organizações, sendo uma área priorizada ou gerenciada somente em casos de altos níveis de reclamações e *recalls*, podendo resultar em grandes quantias gastas em garantia.

Diante disso, verifica-se a necessidade de uma gestão eficaz da oferta de garantia, conforme abordado na seção a seguir.

3.2.2 Gestão do Custo de Garantia

Um modelo de gestão de custos de garantia deve auxiliar a definir políticas e procedimentos para o processamento de reclamações, e deve envolver, dentre outros, a reengenharia do processo de garantia; análise de dados; análise e recuperação de fornecedores; gerenciamento de reparos; e gestão de estoque (DÍAZ *et al.*, 2009). Além disso, de acordo com os autores, para um bom gerenciamento da garantia, o escopo da garantia deve ser conhecido, ou seja, sua cobertura e todas as informações devem ser especificadas. Selecionar adequadamente a política de garantia, considerando custos e lucros, é uma decisão de otimização do processo (WU; XIE, 2008).

A fim de resultar em um processo eficaz, faz-se necessário elaborar um planejamento do fornecimento da garantia, definindo as funções, os possíveis modos de falha, permitindo, assim, traçar as tarefas para solucionar os possíveis problemas. Um sistema de gestão da garantia permite influenciar no projeto de fabricação, gerando aumento de qualidade por meio de informação sobre os defeitos, suas origens e possíveis soluções (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

Além disso, definir um plano de manutenção é oportuno, mensurando as capacidades para fornecimento de garantia no tempo de garantia determinado, considerando capacidade de fornecimento de peças, cronograma das atividades, habilidades técnicas necessárias, dentre outros aspectos que podem influenciar na entrega da garantia, e, conseqüentemente, na satisfação do consumidor (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

Além das medidas já mencionadas, González-Prida e Crespo Márquez (2012) consideram necessário inserir estudos sobre confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança no planejamento da garantia. Também, inserir uma análise do custo do ciclo de vida em relação à garantia, que é influenciado pela confiabilidade do produto, taxa de falha, custo de peças sobressalentes, tempo de

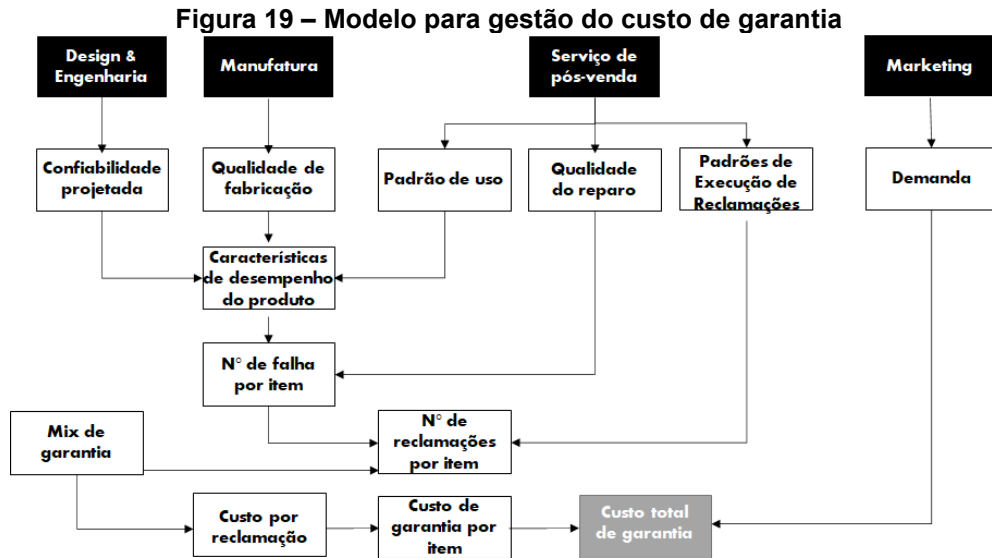
reparo e custo de componentes. Conforme os autores, projetos desenvolvidos com baixo custo para a engenharia são problemáticos e acarretam altos custos em garantia.

Assim, González-Prida e Crespo Márquez (2012) descreveram o processo de gestão da garantia em quatro etapas, sendo:

- *Effectiveness*: relacionada a efetividade do processo. Nessa etapa delimita-se o escopo da garantia, definindo também indicadores para mensurar sua efetividade. No caso da garantia, a efetividade é representada pela satisfação do consumidor, logo, se o processo de garantia produz o resultado esperado pelo consumidor.
- *Efficiency*: diz respeito a atender as exigências da garantia de modo eficiente, ou seja, entregar o serviço ou melhorá-lo com mesmo ou menor custo.
- *Assessment*: avaliação do programa de garantia por meio de medidas definidas nas fases estratégicas do programa. A organização deve definir um método padrão e repetível, abrangendo coleta, análise e interpretação dos dados, gerando conhecimentos que permitam justificar as melhorias.
- *Improvement*: para que o programa alcance a melhoria contínua faz-se necessário um sistema informatizado, visto que o processo gera grandes quantidades de dados e informações.

Conforme os autores que propuseram o modelo, nas etapas iniciais de um programa de gestão de garantia, após definir objetivos, e estratégias do programa, faz-se necessário realizar uma análise de criticidade das reclamações, identificando as consequências para o negócio. A partir disso, as falhas com alta criticidade devem ser priorizadas no momento das tratativas, sendo aconselhável eliminar essas causas com menor tempo possível, resultando em vantagens estratégicas para a organização (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

Murthy e Djameludin (2002) discorreram acerca do modelo integrado para a gestão do custo de garantia de Lyons e Murthy (2001), destacando os fatores de influência, conforme Figura 19.



Fonte: Adaptado de Murthy e Djmaludin (2002)

O custo de garantia é afetado por diversas decisões técnicas durante o processo de manufatura que impactam nos fatores comerciais do produto. Essas decisões impactam em diversas variáveis juntamente com as informações, como o custo total de garantia, que é foco de um sistema de gestão da garantia.

3.2.3 Oferta de Garantia na Indústria Automobilística

Devido ao excesso de demanda, inicialmente as montadoras negligenciaram a importância da satisfação e fidelização do consumidor. Entretanto, à medida que a produção começou a superar a demanda, a competição entre as marcas intensificou-se. Como resultado, houve uma adoção crescente de medidas voltadas para aprimorar a satisfação do consumidor, com o propósito de reter os clientes já conquistados e atrair novos (MCNEIL; MILLER, 1980). Dentre as medidas, a oferta de garantia dos produtos.

A garantia é um instrumento utilizado por montadoras há décadas, como uma forma de melhorar a relação com os consumidores, à qual é aplicada à maioria dos produtos duráveis, e que por vezes é utilizada como uma estratégia de *marketing* ou para afirmar a qualidade do serviço de pós-venda (KARIM; SUZUKI, 2005; HUANG; CHEN; HO, 2013). Embora possa ser utilizada como uma forma de obtenção de benefícios por parte dos fabricantes, é também uma fonte de custos para as organizações.

Conforme dados do *Warranty Week*, “*European Automaker Warranty Expenses*”, considerando o relatório de garantia de 2021 de cinco grandes

montadoras da Europa, observou-se que o custo em reivindicações de garantia, de uma das montadoras no ano de 2021, chegou a 9,27 bilhões de euros, sendo o maior valor dentre as cinco. Já a montadora com menor custo apresentou um valor de 548 milhões de euros. Considerando o valor de garantia acumulado por veículo vendido, a montadora com o maior valor tem um custo de mais de 1,5 mil euros por veículo, em detrimento da montadora com o menor valor, custando 213 euros por veículo.

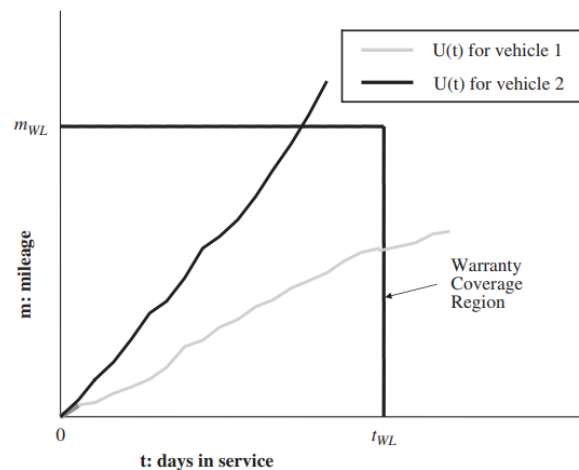
Em um segundo relatório da página, “*Worldwide Auto Warranty Expenses*”, considerando as despesas automotivas mundiais verificou-se que em 2021 foram gastos 45,9 bilhões de dólares em falhas, e um acúmulo do custo de garantia médio de 653 dólares por veículo. No relatório do *website* Statista (2022), por outro lado, apontou um valor de receita de 2,86 trilhões de dólares desse segmento em 2021.

Assim, pode-se observar que as despesas com garantia são consideráveis, podendo atingir quase 2% das receitas das montadoras, sendo necessário uma boa seleção de política, bem como uma boa gestão. Existem diversas políticas de garantia, dentre elas, as políticas unidimensionais (1D), limitada por uma variável, como tempo de uso ou idade do produto, e políticas bidimensionais (2D), as quais a garantia é limitada por duas variáveis (WU, 2012; WANG; XIE, 2017).

Existem diferentes possibilidades de garantias 2D, conforme abordado no Quadro 11, bem como políticas combinadas. Sendo assim, faz-se necessário analisar e planejar a política que melhor atenda às necessidades da organização, do produto e do consumidor.

Assim, grande parte dos fabricantes vendem automóveis com uma política de garantia de não renovação e bidimensional, a qual considera o tempo de uso e a quilometragem, oferecendo substituição gratuita (KARIM; SUZUKI, 2005; MAJESKE, 2007; HUANG; CHEN; HO, 2013; WANG; XIE, 2017; MITRA, 2019). Essa política resulta em uma região retangular de cobertura, conforme abordado no Quadro 11, assim, reparos ou substituições realizadas entre os limites retangulares são cobertos por garantia, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 – Política de garantia bidimensional retangular



Fonte: Majeske (2007)

Ao utilizar dois veículos, 1 e 2, como exemplo, os autores visaram demonstrar que é possível que um veículo atinja o limite da garantia ao ultrapassar somente uma das limitações, como a quilometragem ou o tempo de uso. Conforme já abordado por Wang e Xie (2017), esse tipo de política é mais vantajosa para clientes com uso médio, e menos vantajosa para clientes com uso leve ou pesado.

Conforme Majeske (2007), dentre os benefícios da política 2D na indústria automobilística estão a redução da responsabilidade do fabricante em veículos novos de alta quilometragem, e a definição de um prazo de validade da política em veículos de pouco uso. Porém, esses autores também mencionam que a política pode gerar fragilidades se o modelo utilizado para cálculo não restringir os dados para veículos que atingem a quilometragem limite da política, que em um dos estudos revisados pelo autor, representava mais da metade da amostra. Sendo assim, ao não restringir para o limite de quilometragem há a superestimação do número de veículos em risco, resultando em um modelo de previsão não representativo. Além disso, é uma política que apresenta dificuldade para se modelar e criar previsões (MAJESKE, 2007).

Embora a garantia seja uma forma de fidelizar clientes, seu funcionamento pode ter efeitos contrários. Conforme estudo de McNeil e Miller (1980), os consumidores esperam um bom desempenho do veículo durante o primeiro ano de garantia, entretanto, 48% dos compradores americanos relataram problemas nesse período, com mais da metade tendo atrasos no tempo de resposta pela organização, e 14% não tiveram seus problemas resolvidos, podendo haver variações entre as montadoras. Dessa forma, McNeil e Miller (1980) demonstram que as experiências

dos consumidores com o serviço de pós-venda influenciam em sua lealdade, demonstrando a relação de fidelidade dos consumidores frente a três fatores:

- A intenção de compra reduz à medida que problemas de serviços de garantia aumentam. À medida que ocorrem atrasos ou não ocorre a prestação de serviço, a taxa de reprovação dos compradores aumenta drasticamente, deteriorando as taxas de fidelização e imagem da marca. Entretanto, há uma taxa de lealdade alta para clientes sem problemas com o serviço de garantia, ou atrasos;
- A boa reputação da marca, o bom serviço de reparo e o bom serviço de garantia são fatores decisivos para a decisão de recompra e para o consumidor permanecer com o mesmo revendedor. Em contrapartida, os motivos pelos quais os consumidores mais trocam de revendedores é o alto custo, bem como a qualidade dos serviços de garantia e de reparo; e
- Os serviços prestados em garantia afetam o *Word of Mouth* (WoM), traduzido como boca-a-boca, sendo a tendência de se recomendar a marca para outros compradores. 71% dos consumidores que tiveram algum tipo de problema nos serviços prestados em garantia não deram recomendações positivas, e destes, 41% aconselham os compradores a escolherem outro revendedor. Os autores verificaram que as reações de não compra são mais severas do que as de compra, concluindo que a prestação de serviço da garantia tem impacto imediato nas compras feitas por recomendação.

Assim, observa-se que a qualidade do serviço de garantia impacta nas vendas e na competitividade da marca, evidenciado pelos indicadores de intenção de compra, de recompra e de recomendação por parte do consumidor. Além disso, outro fator que influencia no nível de serviço de garantia é a relação entre fabricante e revendedor, ou seja, na qualidade das prestações de serviços das concessionárias que impacta na imagem do fabricante. Portanto, é necessário mensurar as variações entre as concessionárias, permitindo identificar níveis insatisfatórios e melhorá-los (MCNEIL; MILLER, 1980).

McNeil e Miller (1980) afirmam que nem sempre a satisfação ou insatisfação do consumidor é gerada pela qualidade do produto. A insatisfação, por exemplo, pode ser resultante do serviço prestado pela concessionária, destacando um problema na relação entre fabricante e concessionárias.

Os fabricantes atribuem os serviços às concessionárias, e somente intervêm quando ocorrem problemas que impactem nos custos. Como medida de mitigar esses problemas, alguns fabricantes implementam ações para melhorar o desenvolvimento dos parceiros, como por meio da oferta de cursos, entretanto, grande parte das vezes esses cursos são pagos e de participação voluntária. Assim, as concessionárias com maior adesão são as que já apresentam preocupações relacionadas a qualidade, não impactando os parceiros com nível baixo de qualidade, o que mantém a variação na qualidade do serviço entre as concessionárias (MCNEIL; MILLER, 1980).

Dessa forma, verifica-se que a qualidade da concessionária e do serviço prestado é uma estratégia para melhorar a satisfação do cliente. Entretanto, embora os revendedores tenham sua parcela na satisfação do consumidor, não é possível definir a responsabilidade somente para uma parte, a satisfação é gerada pela interação fabricante e concessionária, obtida por meio de um trabalho conjunto (MCNEIL; MILLER, 1980).

Como forma de mensurar a qualidade da organização, os fabricantes automotivos inserem métricas e indicadores, como mencionado por McNeil e Miller (1980), Suzuki, Karim e Wang (2001) e Majeske (2007). Dentre elas, a taxa de reclamações, ou taxa de falha, que permite comparar essas taxas de reclamação com diferentes taxas de vendas. Para isso, mapeiam o número ou frequência de reclamações (f) em um período i , e o tamanho da população $N(i)$ no mesmo período. Assim, o fabricante calcula a taxa de falha em relação a população para o período de meses em serviço (t), por mil veículos. Porém, conforme McNeil e Miller (1980), essa medida não é suficiente para solucionar os problemas de relacionamento com as concessionárias.

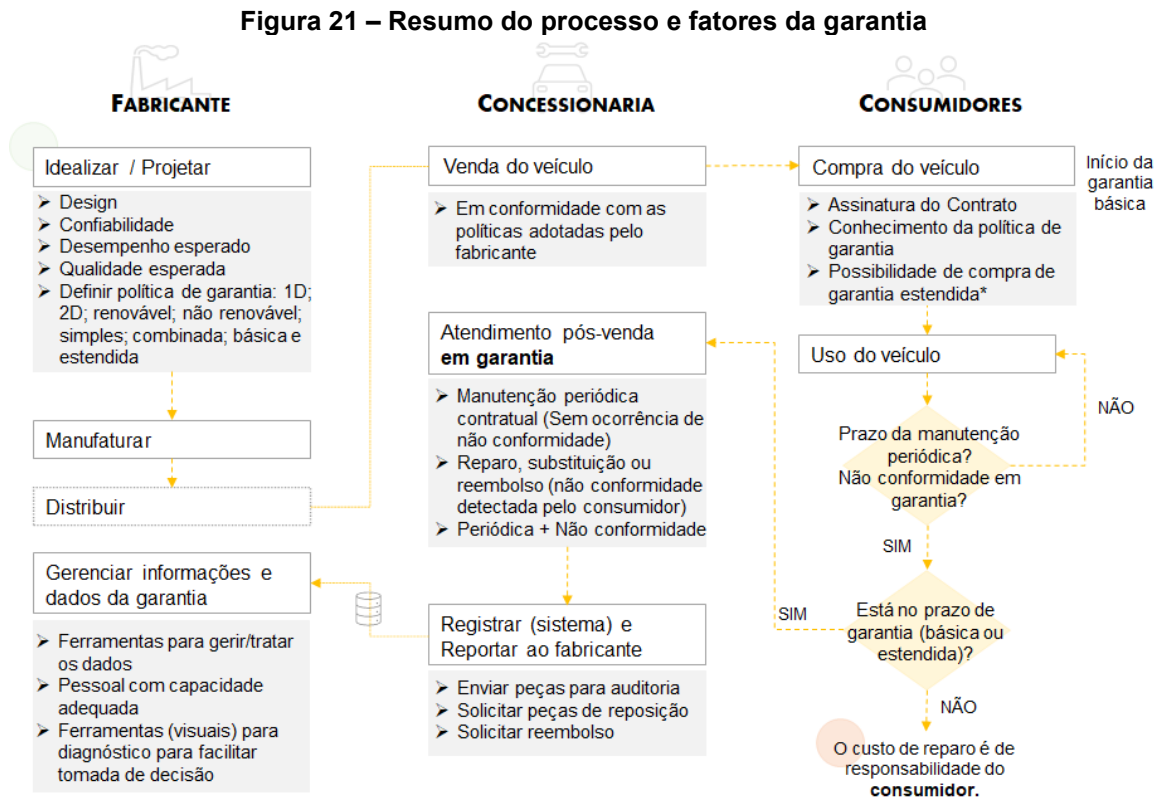
Conforme Huang, Chen e Ho (2013), a métrica de número de falhas interfere diretamente nos custos de garantia, e na disponibilidade para os consumidores, já a manutenção preventiva é um fator chave para aumentar a confiabilidade e prolongar a vida útil dos produtos. Embora inserir manutenções preventivas não evite a deterioração do produto ao fim de sua vida útil, é uma estratégia eficaz para retardar o processo de deterioração, além de ser lucrativa.

Huang, Chen e Ho (2013) abordam uma estratégia denominada de *Conditional-Based Preventive Maintenance* (CBPM), que se baseia na adoção de manutenção preventiva não periódica, utilizando os níveis de confiabilidade do veículo para realizar a manutenção, bem como considerando o modo de uso de cada

consumidor, mas com o fornecedor arcando com os custos das intervenções. Os autores apontam que é esperado que o número de manutenções seja maior com essa estratégia do que se adotasse a manutenção preventiva periódica, porém, embora o fabricante tenha de arcar com os custos nessa abordagem, a confiabilidade do produto se manteria, reduzindo os custos em reparos oriundos da deterioração do uso no período de garantia.

Além dos desafios já mencionados, Hotz *et al.* (1999) abordam algumas dificuldades no planejamento da garantia para a indústria automobilística, sendo a necessidade de se planejar reservas para a garantia; o número de fábricas espalhadas pelo mundo produzindo grandes quantidades de veículos, resultando em uma estrutura complexa para o planejamento; e diferentes políticas de garantia e *goodwill* para diferentes mercados.

Conforme explorado, verifica-se que diferentes estratégias podem ser adotadas em políticas de garantia em indústria automobilísticas, o que pode resultar em maior competitividade, redução de custo, aumento de lucro, aumento de qualidade de serviço, e fidelização e satisfação do consumidor. Os procedimentos e fatores de influência foram resumidos na Figura 21.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Devido ao impacto do custo de garantia para o lucro das organizações (MITRA, 2019), aliado ao que as estratégias adotadas podem gerar, conclui-se que o planejamento e definição de políticas adequadas de garantia são tarefas essenciais para a sobrevivência das indústrias no mercado, bem como gestão efetiva dos custos de garantia, por meio da análise dos dados de garantia. Assim, a seção seguinte discorre sobre análise de dados da garantia.

3.3 Análise de Dados na Gestão do Custo de Garantia

O crescimento da análise de dados tornou-se um aliado das indústrias, visto que, para o contexto dos custos, permite utilizar diversos tipos de dados a fim de conectar as estratégias com outros objetivos, tomando decisões gerenciais mais assertivas. Conforme Hansen, Mowen e Heitger (2022) diferentes tipos de análise de dados permitem responder diferentes questões acerca da gestão de custos.

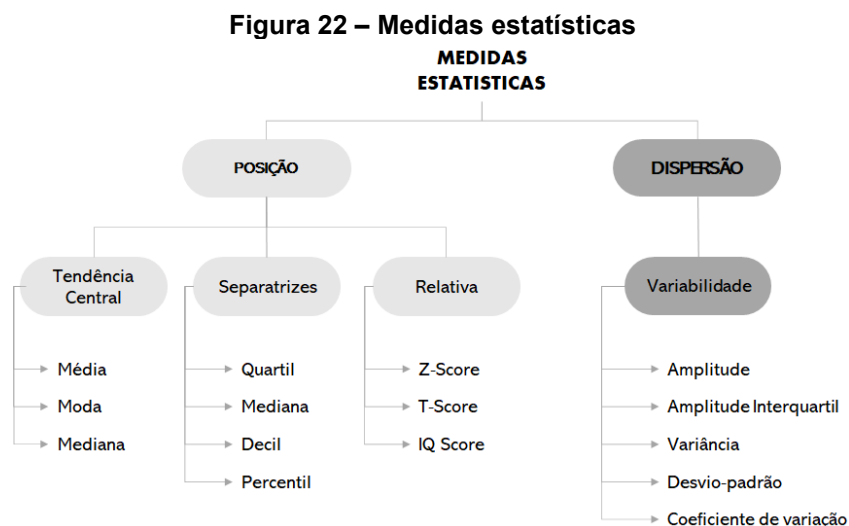
Nesse contexto, podem ser mencionados diferentes modos de se classificar os tipos de análise de dados. Dentre eles está a análise estatística, que, conforme Silvestre (2007), apresenta alguns objetivos, sendo:

- Sintetizar e reduzir dados: A falta de organização do conjunto de dados dificulta no entendimento dos aspectos relevantes. Assim, um dos objetivos da estatística é de sintetizar os dados em um menor número de indicadores sintéticos, sem que ocorra a perda de informações.
- Inferência para outros conjuntos de dados: Permite estabelecer o grau de confiança do conjunto de dados e das medidas, sendo um meio de avaliação da precisão das medidas.
- Identificação de relação entre conjunto de dados: Identificar a relação ou associação em um conjunto de dados, com o intuito de responder se as características de um conjunto permitem prever as características de outro conjunto.
- Redução da dimensionalidade dos dados: Muitas vezes os dados são de natureza multivariada, representando um número p de características dos dados, sendo possível identificar associações e correlações entre essas características. Isso permite certificar-se que o conhecimento de uma das características implica no conhecimento da outra.
- Classificação e discriminação: Permite relacionar grupos de dados de um conjunto, classificando-os ou discriminando-os.

- Agrupamento de dados: Tem como objetivo criar grupos nos dados, por meio de análise de *clusters*, por exemplo.

A estatística atenta-se a coleta, apresentação, organização, descrição, análise e interpretação dos dados, e pode ser classificada em estatística descritiva e indutiva (inferencial). A primeira, foca na descrição dos dados, enquanto a segunda foca na análise e interpretação dos dados para tomada de decisão, e tem como ponto de partida os conhecimentos obtidos na análise descritiva (SILVA, 2009; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2011).

Além dos diferentes focos, a estatística apresenta diversas técnicas e ferramentas, como gráficos de colunas, diagrama circular, histogramas, box-plot, dentre outros, e diferentes medidas, como de posição, e dispersão, sendo medidas de resumo. As medidas de posição representam a concentração dos dados, e podem ser divididas em medidas de tendência central, separatrizes e de posição relativa. Já as medidas de dispersão, também denominadas de medidas de variabilidade ou afastamento, são medidas que avaliam o quão dispersa está a distribuição dos valores em relação à alguma medida de tendência central, sendo a média, mediana e a moda, conforme Figura 22 (SILVA, 2009; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2011; ANUNCIÇÃO, 2021).



Fonte: Anunciação (2021)

Outro conceito importante para a análise estatística é a distribuição dos dados, que pode ser identificada por meio de gráficos como Histograma e Boxplot, e medidas de localização e dispersão (ANUNCIÇÃO, 2021), bem como por meio de testes estatísticos, que diferentemente dos testes gráficos não dependem de interpretação visual, como os testes de Shapiro-Wilk, Shapiro-Francia, Qui-quadrado

de Pearson (QQ), Kolmogorov-Smirnov (KS), dentre outros, que podem ser selecionados considerando o número de dados (TORMAN *et al.*, 2012). Conforme os resultados obtidos pelos autores, para amostrar maiores recomenda-se o uso dos testes Shapiro-Francia ou Shapiro-Wilk.

De acordo com Anunciação (2021), a distribuição pode ser simétrica em torno da média, acompanhando a probabilidade da distribuição normal, que é definida por apresentar média, mediana e moda iguais, coeficiente de assimetria zero e coeficiente de curtose 3, sendo três desvios-padrão para cada cauda; assimétrica à direita ou positiva, representada por uma cauda longa à direita, com *outliers* ou anomalias com valores significativamente altos, média maior que a mediana e quantidade de dados abaixo da média é superior à quantidade acima da média; ou assimétrica à esquerda ou negativa, representada por uma cauda longa à esquerda, com *outliers* ou anomalias com valores baixos, tendo a média menor que a mediana, e a quantidade de dados abaixo da média é inferior à quantidade acima da média.

Ferreira (2020) aborda que as ferramentas de análises estatísticas se dividem em ferramentas para dados paramétricos e não paramétricos. Os dados paramétricos apresentam distribuição de dados com comportamento normal, tendo a média e mediana como métricas representativas, já dados não paramétricos não apresentam comportamento normal, com a média apresentando discrepância em relação a mediana, não sendo uma métrica representativa nessas condições, adotando, para sua análise descritiva, mediana e quartis. Sendo assim, cada tipo de dados deve ter a seleção de ferramentas adequadas para a análise (FERREIRA, 2020).

Análises mais avançadas, como de *Machine Learning* (ML), baseiam-se na ideia de que um modelo pode aprender por meio dos dados, identificar padrões e realizar previsões. Esses modelos de ML, de acordo com Pina (2019), podem ser com aprendizagem supervisionada, treinando modelos com pares de entrada e saída para as previsões e classificações; e não supervisionada, no qual o modelo identifica padrões nos dados sem o uso de rótulos ou categorias pré-definidas, para *clustering* e redução de dimensionalidade dos dados. Para sua adoção, existem diferentes arquiteturas possíveis, como *Neural Networks*, *Decision Tree*, *Support Vectors Machine* (SVM), *Random Forest*, dentre outros, que são selecionados de acordo com o objetivo da análise, como exemplo, para detecção de *outlier* ou anomalia sugere-se o uso do *Isolation Forest*; para *clustering*, que objetiva agrupar dados de acordo com similaridades, é sugerido *Affinity Propagation*, *K-means*, dentre outros (PINA, 2019).

Assim, verifica-se que a compreensão dos tipos de dados e do problema influenciam na seleção da análise ideal. Sendo assim, Sharda, Delen e Turban (2019) classificam os dados em estruturados, que englobam os dados categóricos (nominais e ordinais) e os dados numéricos (intervalares e racionais); e dados não estruturados, podendo ser textos, multimídias (imagem, áudio e vídeo) e XML/JSON, estrutura de dados legível por máquina.

Conforme Brietzig (2022), a análise de dados pode ser definida como um processo que compreende a definição do problema a análise dos dados, resultando na obtenção de informações para solucionar o problema definido. Conforme Sharda, Delen e Turban (2019), o termo análise de dados vem sendo utilizado para descrever o *Business Intelligence* (BI), sendo um processo para desenvolver soluções para problemas reais, combinando tecnologias computadorizadas, dados, técnicas estatísticas e de administração.

No contexto da análise avançada, Sharda, Delen e Turban (2019) abordam o uso de *data warehouse* (DW), uma base de dados para tomada de decisão, que fornece capacidade analítica avançada. A estrutura dos DWs baseia-se em (1) Fontes de dados, que podem ser provindo de ERPs, dados externos, dados da web, dados em tempo real, ou outras fontes; (2) Processos ETL (*Extract, Transform, Load*), selecionando, extraindo, transformando, integrando e carregando os dados para uma área temporária, transformando os dados e limpando-os, deixando-os disponíveis para alimentar o DW ou os *Data Marts*, específico por área; (3) a partir disso, APIs (*Application Programming Interface*)/*Middleware* acessam o DW, permitindo análises e visualizações, realizando relatórios, mineração de dados e texto, OLAP e *dashboards*, e aplicativos.

Para isso, os dados nem sempre estarão prontos para análise, necessitando de etapas de pré-processamento dos dados (LABRINIDIS; JAGADISH, 2012), coletando-os, integrando-os, realizando limpezas a fim de reduzir ruídos, transformando-os e realizando a redução dos dados (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019).

Essa etapa de pré-processamento é descrita por Gandomi e Haider (2015) como a primeira etapa para realizar análises de Big Data, seguido da segunda etapa, de análise, que compreende as técnicas usadas para analisar e obter a inteligência do Big Data, por meio da modelagem e análise e interpretação das informações. A partir dessas etapas é possível extrair as informações dos dados. Para isso, existem

diferentes formas de analisar dados, conforme abordado na literatura, sendo a análise descritiva; diagnóstica; preditiva e prescritiva.

A análise descritiva tem como objetivo transformar dados em informações fáceis de serem interpretadas, permitindo compreender o cenário. Resume os dados em gráficos e relatórios (EVANS; LINDNER, 2012), permitindo melhor compreensão do cenário da empresa e auxiliando na identificação de tendências, bem como causas (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). Envolve a consolidação das fontes de dados e a disponibilidade dos dados para extração e análise. Normalmente, utiliza-se de *Data Warehouse* (DW), e a partir dessa infraestrutura desenvolve relatórios, consultas, alertas, e outros tipos de análises, aprimorando a área de visualização das análises por meio de *dashboards*, por exemplo (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). Conforme Brietzig (2022), é o primeiro estágio de uma análise de dados mais robusta, permitindo compreender o problema, respondendo o que está acontecendo. Conforme Marquesone (2016) esse tipo de análise objetiva sumarizar os dados e facilita na construção de indicadores.

Já a análise diagnóstica foca na obtenção de respostas de dados históricos, buscando identificar fenômenos ocorridos nas organizações (MARQUESONE, 2016). Esse tipo de análise permite responder o porquê algo está ocorrendo nos custos, com uso de ferramentas como *What-If* e Causa Raiz para identificar os fatores de influência.

A análise preditiva, conforme Brietzig (2022), é adotada com a finalidade de fazer previsões. Normalmente são realizadas por meio de análise de séries temporais, que com o apoio de ferramentas estatísticas e outras ferramentas como mineração de dados. Esse tipo de análise permite não somente compreender o passado, mas também estimar valores futuros, como riscos e oportunidades, sendo um meio provável de prever o futuro (MARQUESONE, 2016; SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). Conforme Sharda, Delen e Turban (2019), esse tipo de análise pode ser adotado, por exemplo, para prever se um consumidor está propenso a mudar para um concorrente; se o cliente tende a comprar e qual quantidade; estimar a relação entre diferentes comportamentos de compra entre usuários, dentre outras aplicações. Utiliza-se de algoritmos e programação para identificar padrões e relacionamentos que permitam projetar o comportamento futuro, e permitindo responder o que irá acontecer, sendo aplicável por exemplo para a previsão de *budget* (EVANS; LINDNER, 2012).



Por fim, a análise prescritiva é adotada para suportar a tomada de decisão, permitindo selecionar a melhor opção de decisão, justificando-a por meio das informações extraídas dos dados (BRIETZIG, 2022). Sharda, Delen e Turban (2019) abordam esse tipo de análise como uma forma de esclarecer o que está ocorrendo e o que virá a ocorrer, permitindo tomar a melhor decisão possível, demonstrando sua origem na Pesquisa Operacional. Usa otimização para identificar as melhores alternativas para maximizar ou minimizar um objetivo (EVANS; LINDNER, 2012). Assim, é um método para tomada de decisão, que pode resultar em recomendações na forma de sim ou não, resultando em quantidades específicas otimizadas, ou até mesmo em um conjunto de planos de ação (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). Esses resultados podem ser apresentados a um tomador de decisão, ou até mesmo utilizado em sistemas automatizados, permitindo que um sistema tome as decisões e faça as recomendações, sendo um método que visa a mínima intervenção humana (MARQUESONE, 2016; SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019). Conforme Brietzig (2022), esse tipo de análise é adotada posteriormente as duas análises anteriores, e permite responder o que deve ser feito sobre um problema, identificando por exemplo processos que podem ser mudados a fim de reduzir custos.

Assim, as organizações investem recursos, tempo e dinheiro, para monitorar os problemas de qualidade e garantia, monitorando, por exemplo, as reclamações dos clientes. Essa atividade acarreta grandes volumes de dados, provenientes de duas fontes principais: fabricante e montadoras ou concessionárias e reparadoras (LAWLESS, 1998; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006). Entretanto, devido questões de confidencialidade das organizações, análises e resultados da gestão de dados da garantia de organizações são limitadas, sendo também um tópico negligenciado devido os desafios da gestão dos dados (LAWLESS, 1998).

Em razão do grande volume de dados, ferramentas específicas para seu armazenamento, manipulação e análise são necessárias. Conforme Buddhakulsomsiri *et al.* (2006), a inserção de sistemas e tecnologias inovadoras no âmbito automotivo permite uma maior rastreabilidade das transações, com dados sobre a fabricação, sobre o produto e a venda. Essas informações podem ser utilizadas para criar relações com as reclamações dos consumidores a fim de detectar possíveis problemas de forma mais eficaz, e traçar estratégias para mitigá-los.

Buddhakulsomsiri *et al.* (2006) abordam o processo de coleta de dados da garantia, identificando os principais dados coletados e o responsável por armazená-los, conforme Figura 23.

Figura 23 – Dados de garantia armazenados por fonte

|  FABRICANTE OU MONTADORA |  CONCESSIONARIA OU REPARADORA |
|---|--|
| <p>Armazena: Dados de fabricação e montagem dos produtos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ID do produto; - Data de produção; - Opções do produto; - ID da planta; - Dados do fornecedor; - Outros. | <p>Armazena (na transação de venda para o cliente): Dados da transação</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de identificação do produto; - Data de venda; - Outros. <p>Armazena (na prestação de serviço em caso de falha): Dados do serviço prestado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Código de trabalho do reparo; - Data do reparo; - Quilometragem no reparo; - Mão de obra necessária; - Custos de peças; - Outros. |

Fonte: Adaptado de Buddhakulsomsiri *et al.* (2006)

Assim, os dados de fabricação, venda e de reparos reivindicados e aceitos são armazenados em um *data Warehouse* (DT) de garantia, permitindo assim que especialistas e *stakeholders* internos dos dados os utilizem para realizar análises e gerar informações. Hotz *et al.* (2001) exemplificam com dois sistemas, o QUIS (*Quality Information System*) e o VEGA (*Vereinfachte und Effiziente Garantieabwicklung*), traduzido como transação simplificada e eficiente de reivindicações de garantia e *goodwill*. Assim, o processo se inicia nas concessionárias, que realizam as reparações se o veículo reclamado estiver em período de garantia ou com contrato de *goodwill*, armazena e processa no VEGA. Caso esteja de acordo com o contrato entre fabricante e reparadora, a concessionária envia as notas de reembolso para o fabricante, para o QUIS, sistema que armazena dados de fabricação do veículo e dados de reclamações.

Para que as análises sejam possíveis, alguns procedimentos podem ser necessários, como integrar dados de diferentes fontes e padronizar/unificar os dados das diferentes fontes, como provenientes das fábricas, montadoras, concessionárias, reparadoras, dentre outras (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; SUZUKI *et al.*, 2020). Conforme os autores, sem essa integração análises tornam-se limitadas.

No contexto da análise de dados, menciona-se os procedimentos abordados pelo CRISP DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*) para projetos de

ciência de dados. O método aborda seis processos, que abrangem desde a compreensão do problema até a automatização do projeto, conforme Chapman *et al.* (2000) e Schröer, Kruse e Gómez (2021), sendo:

- *Business Understanding*, traduzido como compreensão do problema, visa avaliar a situação do problema, os recursos necessários e disponíveis, determinando o objetivo de análise, definindo o tipo de mineração de dados que será necessária, como classificação, agrupamento, dentre outros;
- *Data Understanding*, traduzido como compreensão dos dados, visa coletar e explorar os dados, avaliando sua qualidade;
- *Data Preparation*, traduzido como preparo dos dados, visando o denominado como pré-processamento dos dados. O tipo de tratamento dos dados depende do tipo de modelo que será adotado;
- *Modeling*, traduzido como modelagem, visa selecionar o modelo mais aplicável ao problema de negócio e aos dados disponíveis, selecionando o modelo e os parâmetros;
- *Evaluation*, traduzido como avaliação, avalia-se os resultados em relação ao objetivo do negócio, interpretando e registrando os resultados e definindo as ações a serem tomadas; e
- *Deployment*, traduzido como implantação, etapa responsável por implementar o resultado obtido, podendo ser um relatório ou um componente de *software*, ocorrendo a automação do resultado (*deployment automation*).

De acordo com Chapman *et al.* (2000), a elaboração do modelo geralmente não representa o fim do projeto, envolvendo, frequentemente, outras ações para implementação, que podem ir de ações simples, como gerar um relatório, ou tão complexa como implementar um processo em toda a organização de forma totalmente automatizada. Essa decisão baseia-se nos requisitos da organização.

Conforme relatório do Octopus Deploy, empresa de automação de soluções, embora seja essencial a definição de requisitos dos projetos pelos humanos, não é necessário que eles os executem. O *deployment* de forma manual cria riscos e desafios que justificam a automação de implantação das soluções. Assim, existem diferentes maneiras de gerar soluções automatizadas, o procedimento adotado pela Octopus Deploy é: o desenvolvedor cria o código e o insere em um sistema de controle de origem existente (*version control systems*), como Git, Subversion, ou outro, da preferência do cliente; o cliente compila o código e executa os testes, por meio do

TeamCity, Jenkins, ou outro sistema de escolha do cliente; e ao concluir os testes, a aplicação é agrupada em um pacote NuGet, um gerenciador de pacotes, e o servidor da organização compila e agrupa os arquivos para implantar o aplicativo.

Hotz *et al.* (2001), por outro lado, mencionam a necessidade de se priorizar os dados, evitando lidar com um número excessivo de dados. Assim, uma solução aplicada pelos autores foi realizar a limpeza dos dados, resultando em maior qualidade da base de dados, e selecionar os top-problemas, ou *top damage codes*, sendo os códigos de problemas reparados com mais alto custo. A partir dessas etapas, os autores adotam o procedimento de analisar, separadamente por concessionária, os custos para os top-problemas, analisando os desvios para custo de reparo e custo de mão de obra, sendo o procedimento:

- a) Custo de reparo: São coletados o número de reparos para um determinado código de dano, para uma concessionária específica. A partir disso, identifica-se o custo para realizar esses reparos, faz-se o cálculo da média por reparo e então identifica-se o desvio em relação à média.
- b) Custo de mão de obra: Faz-se o mesmo procedimento do item anterior, porém utilizando os custos de mão de obra.

A análise de dados de garantia apresenta alguns desafios. Exemplo de dificuldade é em relação aos atributos dos dados, ou seja, existem dados temporais, como data de fabricação, data de venda, data de reparo, dentre outros; dados numéricos, como quilometragem, tempo de garantia, custo de mão de obra, custo de reparo, custo da peça, dentre outros; e dados categóricos, como a identidade do produto, da fábrica, da concessionária, código do trabalho, tipo de motor, e outras diversas informações. Além dos tipos de dados, o produto em si apresenta centenas de atributos que são armazenados em banco de dados atingindo milhões de registros. Sendo assim, a análise de dados da garantia deve ser capaz de lidar com vários tipos de dados, integrando-os, mas também lidar com grande volume de dados (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006).

Além disso, diferentes autores mencionam os desafios de realizar análise de dados de garantia, sendo:

- Atraso no registro de incidentes por parte das concessionárias, podendo gerar análises não representativas por parte dos fabricantes (KALBFLEISCH; LAWLESS; ROBINSON, 1991; LAWLESS, 1998; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012);

- Volume de dados (LAWLESS, 1998; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006);
- Característica, forma e qualidade dos dados (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; WU, 2012);
- Incompletude dos dados provenientes de fontes díspares, como não fornecer o número exato de falhas de um produto, dificultando as análises (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012; SUZUKI *et al.*, 2020);
- Integrar e consolidar dados de diferentes fontes e formatos em um banco de dados (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; SUZUKI *et al.*, 2020);
- O banco de dados pode não fornecer a data exata do primeiro uso do veículo (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- As informações podem estar disponíveis somente para produtos com falhas no período de garantia, dificultando a previsão para outros produtos (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- Possibilidade de mais de uma causa para uma falha, dificultando a análise (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001); dentre outros.

Entretanto, com dados bem consolidado, é possível realizar diferentes análises e obter resultados benéficos. Algumas das possibilidades de uso destes, conforme diferentes autores, são:

- Comparar reivindicações para diferentes produtos (LAWLESS, 1998);
- Estudar as variações das reivindicações com o tempo, local de fabricação, ou ambiente de uso (LAWLESS, 1998);
- Realizar predição de reivindicação e custo de garantia (LAWLESS, 1998; WU, 2012), ou previsão de falhas (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012), para planejar planos fiscais (WU, 2012);
- Estimar confiabilidade (LAWLESS, 1998; WU, 2012) e compará-la entre concorrentes (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- Identificar oportunidades de melhoria tanto em confiabilidade como em qualidade (LAWLESS, 1998), identificando de forma antecipada, por exemplo, itens, produtos ou processos ruins (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- Tomar decisões sobre descontinuar ou modificar projetos (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012);
- Relacionar os dados da fase de teste até os resultados em campo, permitindo comparações (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);

- Acompanhar métricas do produto (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- Construir um banco de dados sobre as falhas, relacionando-as com outras variáveis (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001);
- Rastreabilidade das transações (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006); e
- Utilizar os dados para a identificar desvios fraudulentos por parte de concessionárias, permitindo localizar de forma rápida anomalias nos custos de garantia (HOTZ *et al.*, 2001).

Conforme Wu (2012), uma das aplicações da análise de dados de garantia é a detecção precoce de problemas de confiabilidade, permitindo ao fabricante tomadas de decisão antecipadas sobre possíveis problemas. Para isso, o autor menciona que diversas técnicas estatísticas podem ser utilizadas, como gráficos de controle; comparação de distribuição de probabilidade; ou até inteligência artificial. Para se utilizar algoritmos de detecção precoce, o autor descreveu quatro pontos de atenção:

1. A detecção de reivindicação para produtos novos, com dados limitados, pode ser problemática;
2. Produtos já lançados podem sofrer alterações, sendo assim, faz-se necessário assumir que o processo de garantia não é estacionário;
3. Falhas de um tipo de componente instalado em diversos produtos pode gerar problemas mais sérios do que se instalado em somente um produto; e
4. Reivindicações de garantia geralmente ocorrem por reclamação do consumidor no formato de texto, logo, técnicas de mineração de texto são úteis.

Outra aplicação abordada por Wu (2012) é o uso da análise de dados para predição de reclamações, atividade importante para o planejamento fiscal da organização. Nesse contexto, diferentes técnicas foram abordadas na literatura, como *Lifetime distributions*, traduzido como distribuição ao longo da vida útil, abordagem para estimar a distribuição do tempo para reclamação; Processos Estocásticos, como de Poisson, com o número médio de garantia sendo considerado um parâmetro do processo; Redes Neurais Artificiais; Séries temporais e filtro de Kalman, utilizando a taxa de reivindicações de cada mês como uma série temporal, permitindo assim usar as técnicas das séries temporais. Por fim, os autores abordam o uso de análise de dados para estimar as reivindicações de garantia, utilizando principalmente o processo Poisson, sendo a técnica NHPP (*Nonhomogeneous Poisson Process*) a mais utilizada.

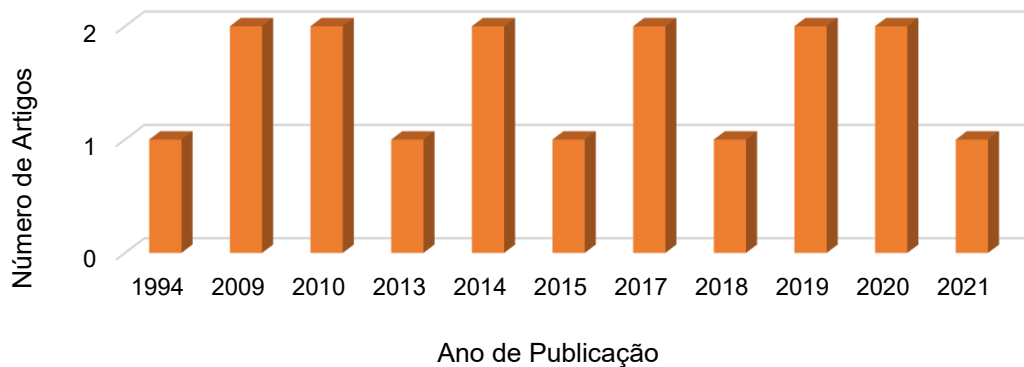
Assim, observa-se que existem diferentes técnicas utilizáveis para a análise de custo de garantia. Para isso, verificou-se ser necessário o conhecimento acerca da política de garantia adotada, a compreensão dos dados adotados, a definição do problema a ser resolvido por meio da análise, a correta definição da análise, e um bom tratamento dos dados. Uma boa gestão dos dados permite que estes sejam utilizados para realizar análises refinadas acerca da garantia, permitindo desde previsões a tomadas de decisão estratégicas, podendo tornar-se um diferencial gerencial para a organização.

3.4 Gestão da Garantia na Indústria Automobilística: Estado da Arte

Essa seção objetiva apresentar as análises do portfólio de artigos científicos, definido por meio da metodologia *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovalski e Resende (2015; 2017) e atualizada em Pagani *et al.* (2022). O portfólio foi construído com base em buscas em combinações de palavras-chave alinhadas com a presente pesquisa, como gestão da garantia, modelos de gestão, modelos de garantia, otimização de garantia, análise de dados da garantia, todas alinhadas com o foco na indústria automobilística. Assim, nessa seção serão apresentadas as análises bibliométricas (3.4.1) e de conteúdo (3.4.2) do portfólio, a fim de compreender o contexto de publicação acerca dessa temática, identificar o foco dos autores, e avaliar os modelos mencionados na literatura, a fim de auxiliar na construção do modelo de gestão, objetivo da presente pesquisa.

3.4.1 Bibliometria

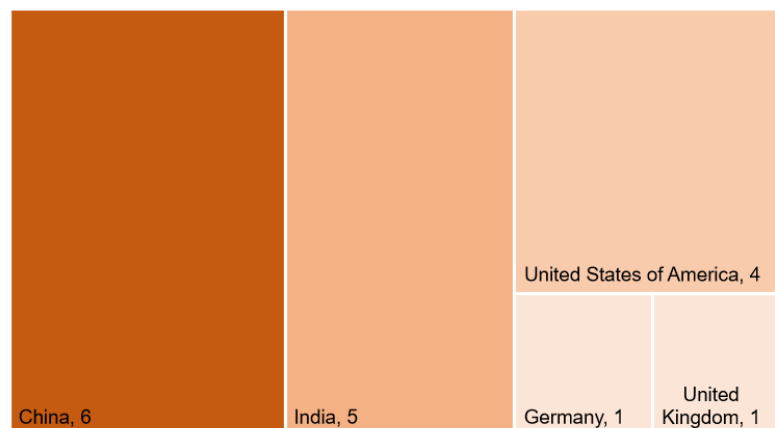
O portfólio de artigos ficou composto por 17 artigos, ou seja, 43% do portfólio inicial. Observa-se que embora tenham sido definidas cinco combinações de palavras-chave, com diversos temas centrais, o retorno foi baixo, evidenciando a carência da literatura em gestão e modelos para gestão do custo de garantia. Assim, a primeira análise realizada foi com o intuito de avaliar a tendência de publicação acerca da temática, conforme Figura 24.

Figura 24 – Ano de publicação dos artigos

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Observa-se que os artigos se apresentam distribuídos ao longo dos anos, e que a temática não é atual, visto que o primeiro artigo do portfólio é do ano de 1994, logo, desperta interesse da comunidade científica há mais de 20 anos. Verifica-se também que não há um ano específico com acúmulo de publicações, sendo bem distribuído, logo, não existe um padrão de tendência de crescimento, demonstrando que é um tema que vem sendo explorado ao longo dos anos, porém, com um número muito baixo.

A segunda análise realizada foi com o intuito de verificar os países com maior interesse acerca da gestão do custo de garantia, mapeando o país do primeiro autor de cada artigo. O resultado obtido foi, conforme Figura 25.

Figura 25 – País do primeiro autor

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

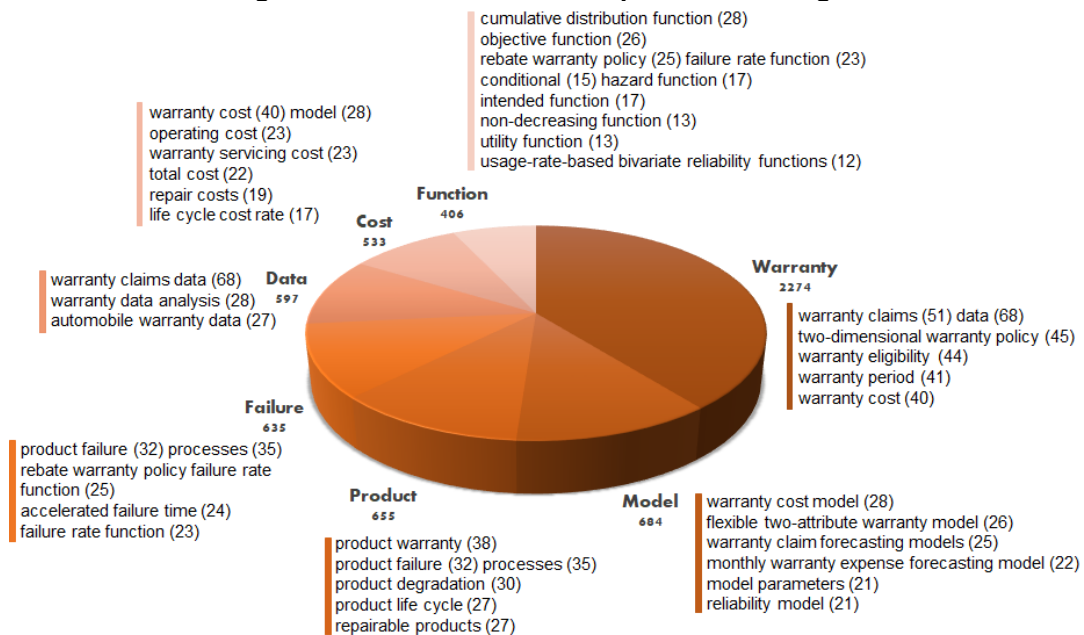
Observa-se que 35% do portfólio foi escrito por autores chineses, seguido de autores da Índia e Estados Unidos, com 29% e 23%, respectivamente. Assim, verifica-se que os países com maior interesse na temática de gestão de custo de garantia são também os países mais populosos do mundo. Outro fator relevante é que a Ásia é o

continente com maior estudo acerca da temática, seguida da América do Norte, e Europa. Assim, mais uma vez evidencia-se a carência de estudos, e a necessidade de estudos de outros países e continentes, permitindo a disseminação de informações acerca da gestão da garantia.

Em seguida, foi realizada a análise das revistas do portfólio. Verificou-se que as duas principais são *International Journal of Product Development* e *European Journal of Operational Research*, com 3 e 2 artigos, abordando desenvolvimento e inovação de produtos, pesquisa operacional e a prática de tomada de decisão, respectivamente. Assim, verifica-se um foco do portfólio em inovação e estratégias para tomada de decisão mais assertivas.

Por fim, foi realizada a análise dos principais temas abordados no portfólio, por meio da funcionalidade de codificação automática disponibilizada pelo *software* NVivo 12. Essa funcionalidade mapeia os termos mencionados ao longo do corpo dos artigos, agrupando os termos por frequência de ocorrência, criando redes de temas. Assim, os temas centrais abordados no portfólio foram, conforme Figura 26, a qual apresenta ao centro o termo central juntamente com o número de trechos codificados, e os termos relacionados, ou seja, mencionados juntamente com o termo central, também com o número de trechos codificados.

Figura 26 – Temas centrais no portfólio de artigos



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Verifica-se que o principal termo mencionado é a garantia (*warranty*), mencionada em 2.274 trechos do portfólio. Quando se trata de garantia, os principais

trechos se referem às reclamações (*claim*) e aos dados (*data*) da garantia, sendo a análise das reclamações, por meio de dados, uma das atividades necessária para a efetiva gestão da garantia (DÍAZ *et al.*, 2009); seguido da política de garantia 2D, principal política adotada por montadoras de veículos, conforme já abordado por Huang, Chen e Ho (2013), Wang e Xie (2017) e Mitra (2019).

Na sequência, os termos mais mencionados foram *Model*, *Product* e *Failure*, traduzidos como Modelo, Produto e Falha, presentes em mais de 600 trechos cada. Em relação à modelo, verifica-se que a principal temática abordada é o modelo de custo da garantia, suas configurações e parâmetros, bem como o modelo de confiabilidade da garantia. Já em relação a produto, os trechos se referem à produtos em garantia, ao processo de falha e degradação do produto e seu ciclo de vida, informações importantes para definir o custo de garantia por unidade, que, por sua vez, é essencial para definir o preço de venda do produto (WANG; XIE, 2017). Já em relação a falha, aborda-se o modelo, processo e função de falha, bem como o *Accelerated Failure Time* (AFT).

Por fim, os últimos temas centrais são *Data*, *Cost* e *Function*, traduzidos como dados, custo e função, mencionados em mais de 400 trechos cada. São abordados dados e análise de dados da garantia de automóveis, os custos da garantia desse segmento, mencionando o custo de reparo, custo total, custo operacional e custo do ciclo de vida do produto, e, por fim, são mencionadas diversas funções aplicáveis a análise da garantia, como a distribuição cumulativa, a função objetivo para otimização, a função de falha, a função perigo (*hazard*), dentre outras. Os dados de falha e custos e as ferramentas são bens necessários para realizar a gestão do custo de garantia, permitindo melhorar os processos de fabricação e gerando aumento de qualidade por meio dos dados de defeitos (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

3.4.2 Análise de Conteúdo

A análise de conteúdo é realizada a fim de analisar mais profundamente os artigos do portfólio, sendo um método de análise qualitativo, com procedimentos sistemáticos de descrição de textos a fim de promover conhecimentos (CARDOSO; OLIVEIRA; GHELLI, 2021). Assim, foi realizada a leitura completa dos artigos do portfólio, permitindo identificar as técnicas, estatísticas, modelos e cálculos realizados, bem como com qual finalidade foram aplicadas. Além disso, essa análise representa

a revisão de trabalhos comuns a presente pesquisa. Assim, verificou-se oito objetivos distintos entre os artigos, sendo eles:

I. Revisão teórica:

Como único trabalho teórico no portfólio, Wang e Xie (2018) apresentaram uma extensa revisão do conhecimento relacionado à garantia 2D. Dentre os aspectos abordados, estão os modelos de falha abordados em garantias 2D, com três modelos principais:

- Abordagem Marginal (univariada): Nesse tipo de modelagem um problema 2D é reduzido à 1D, abordando o uso como função aleatória de idade, com a taxa de uso R variando de cliente para cliente, mas permanecendo constante para um cliente específico, sendo o R uma variável discreta ou contínua. O tempo até a primeira falha pode ser modelado por uma função de risco condicional, e a função de risco pode ser modelado de diferentes modos, como por meio de função polinomial (modelo de regressão), pelo modelo *Accelerated Failure Time* (AFT), dentre outros.
- Abordagem Bivariada: Modela o tempo até a primeira falha por meio de uma distribuição Bivariada $F(t, x)$. Como exemplo são os modelos *Pareto and Beta Stacy distributions*, *bivariate exponential distribution*, *bivariate Weibull distribution*, *bivariate Paulson distribution*.
- Abordagem de Escala Composta: São combinadas as duas escalas, idade (T) e uso (X) em uma terceira escala composta (Z), com a falha do produto podendo ser modelado como um processo de contagem baseado nessa escala composta.

Além disso, os autores abordaram as métricas de custo de garantia, que são variáveis aleatórias, visto que as reclamações de garantia envolvem diversas fontes de incerteza e o custo para retificar cada reclamação também pode ser aleatório. Assim, as métricas abordadas foram:

- *Warranty cost per unit sale*: É o custo de garantia por unidade vendida. Conforme os autores, essa métrica é importante para definir o preço do produto, visto que, para garantia a lucratividade do fabricante o custo de venda deve exceder o custo de garantia, de produção e de outros custos importantes.
- *Life cycle cost over a product's lifetime* (LCC-I): é o custo total de operação de um único produto ao longo de sua vida útil, considerando custos de aquisição,

operacional, manutenção, reparo e de descarte. É uma métrica de grande interesse para o cliente.

- *Life cycle cost over the life cycle of a product* (LCC-II): É o custo dependente do ciclo de vida do produto, ou seja, desde o seu lançamento até sua retirada do mercado. É definido pelo produto do número de vendas totais e o LCC-I.
- *Cost per unit time*: É o custo por unidade de tempo.

II. Abordar tipos de garantia:

Como o artigo mais antigo do portfólio, Moskowitz e Chun (1994) abordaram a questão de se ofertar tipos de garantia flexível aos consumidores. Conforme os autores, propor políticas flexíveis pode ser desejável, tanto para os produtores quanto para os consumidores. Com base no modelo de regressão de Poisson e na teoria da utilidade esperada de von Neumann-Morgenstern, os autores desenvolveram dois tipos de políticas de dois atributos, uma fixa e uma flexível. Além dos autores, Dai *et al.* (2017) discutiram que para que os fabricantes projetem políticas de garantia flexíveis para diferentes tipos de clientes, faz-se necessário compreender a vida útil do produto.

Já He *et al.* (2020) focam em garantia estendida. Os autores consideram modelos de custo de garantia com base nos processos de falha do produto, e estabelecem um modelo de decisão de preço para garantia estendida, com estratégia *win-win* no ciclo de vida do produto. Para isso, utilizam uma política de garantia 2D não renovável *Free Repair Warranty* (FRW), com limite de idade e de uso. A garantia estendida, abordada pelos autores, pode ser comprada antes do fim da garantia básica, ou ao fim dessa, para definir as políticas de garantia para quando a garantia básica finalizar. Assim, os autores determinaram o método do processo de falha, utilizando o método Marginal, que assume que a taxa de utilização de um determinado cliente é constante, mas varia aleatoriamente de cliente para cliente. Foi utilizado o *Accelerated Failure Time* (AFT), sendo o método marginal mais recorrente para estudar o impacto da taxa de uso na falha do produto. Foram então definidas as funções de densidade, de risco cumulativo e de taxa de falha, e definidas as ações de reparo do produto com base no modo de falha *Generalized Polya Process* (GPP), sendo um tipo de reparo pior. Assim, foram definidas diversas políticas e testadas as equações.

Por fim, Liu, Wang e Su (2021) adotaram uma política de garantia de desconto com limite de tempo de reparo e número de reparos sob a estrutura do *Life Cycle Cost*

(LCC). Os autores então modelaram equações com o intuito de reduzir o custo de garantia, modelando o custo em função do tempo de reparo. Assim, foi definido um modelo de garantia de desconto, definido a taxa de falha da vida útil do produto como $\lambda(t)$, e a vida útil representada por uma distribuição *Weibull*.

III. Identificar causa raiz:

Blumenstock *et al.* (2009) abordaram o *Rule Cubes*, sendo uma ferramenta utilizada com sucesso na identificação das causas principais dos problemas de qualidade. Conforme os autores, o *Rule Cubes* são padrões que podem assumir o papel de regras, com cada cubo afirmando que suas variáveis ocasionaram um problema. É uma distribuição de frequência discreta sobre um pequeno conjunto de variáveis, entre as quais está o atributo de classe, permitindo avaliar os padrões de acordo com a validade de suas afirmações.

De, Das e Sureka (2010) propuseram um modelo de análise de causa raiz para falhas de garantia, integrando os dados de falha de campo com a melhoria do projeto, e dados internos de gerenciamento de qualidade. Para isso, diferentes técnicas foram utilizadas, como o *Ontology-Relationship-Diagram* (ORD) para representar os dados de *Failure-Modes and Effect-Analysis* (FMEA), a conversão de ORD em uma Rede *Bayesiana* (BN) no contexto de um *Corrective Action Reports* (CAR), uso de dados de reivindicações de garantia como entrada de dados transacionais para o BN para obter inferência probabilística para falha de garantia, e a aplicação de técnica de processamento de texto para conversão de dados não estruturados em estruturados.

IV. Análise de dados:

Rai (2009) realizou a análise de dados da garantia para obter *feedback* significativo para melhorar a confiabilidade e robustez dos veículos, ocasionando a redução do custo de garantia. Conforme o autor, uma reclamação do consumidor pode ter diversas causas, provenientes de componentes diferentes do veículo, e vice-versa. Embora seja desafiador, é necessário priorizar para propor melhorias de robustez e confiabilidade baseando-se nas reclamações do consumidor ou peças relatadas como causadoras de problemas. Assim, uma boa estratégia para se priorizar áreas para melhoria de confiabilidade e robustez envolve três níveis de análise, conforme Quadro 12.

Quadro 12 – Estratégia em três níveis para priorização de área

| Nível | Atividade | Representação |
|-------|---|---------------|
| 1 | Gráfico de Pareto para identificar as principais causas (C) de reclamações relatadas pelos consumidores. Visto que nessa etapa os consumidores relatam os problemas verificados, há uma chance mínima de classificação incorreta. | <p>(1)</p> |
| 2 | As principais reclamações dos consumidores são divididas em partes (P) relatadas como causadoras, identificando as principais causas, denominadas por C1, ..., C16, Fig. (1), e identificando as possíveis partes que ocasionam essa reclamação, denominadas de P1, ..., P16, Fig. (2), representadas também em um gráfico de Pareto. Essa etapa apresenta chances de classificação incorreta superiores às do nível 1, visto que depende da classificação e diagnóstico corretos por parte dos técnicos de reparo. | <p>(2)</p> |
| 3 | O nível três objetiva relatar as causas das falhas das peças relatadas como resultado da preocupação dos clientes. Para isso, pode ser realizada a leitura do diagnóstico do técnico responsável pelo reparo; conversar com o técnico de reparo para esclarecimentos; análise da engenharia das peças reajustadas dos revendedores; e/ou histórico de reivindicações do veículo. Para isso, utiliza-se um gráfico de Pizza, relatando as falhas (F) provenientes de cada parte (P) das causas de reclamação (C). | <p>(3)</p> |

Fonte: Adaptado de Rai (2009)

Conforme Rai (2009), o uso de dados da garantia, para análise e melhoria de confiabilidade e robustez, e conseqüentemente redução de custos de garantia, enfrenta diversos desafios devido às características dos dados, como truncamento; censura; imprecisão e diagnósticos incorretos, conforme já abordado por outros autores (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; WU, 2012; SUZUKI *et al.*, 2020);

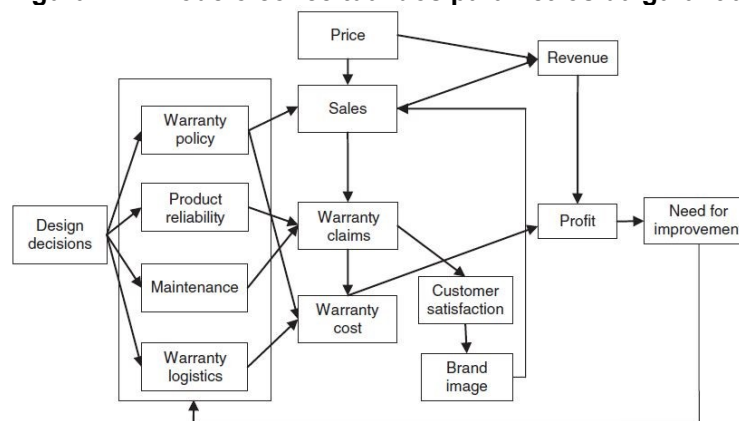
Posteriormente, Rai (2010) realiza a análise de maturação de dados da garantia, avaliando seus impactos nos indicadores. Foi utilizada a distribuição *Weibull* para modelar dados de falha, pois permite capturar diferentes padrões de taxa de falha (DAI *et al.*, 2017). Os dados obtidos através da simulação são analisados usando análise de variância (ANOVA). A distribuição *Weibull* foi amplamente mencionada como uma das técnicas mais populares para modelar dados de falha (DAI *et al.*, 2017), sendo aplicada em métricas de custo de garantia bivariada (WANG; XIE, 2018), com flexibilidade para descrever taxas decrescentes, constantes e decrescentes (WANG; LI; XIE, 2020).

V. Auxiliar tomada de decisão:

Na sequência, Ambad e Kulkarni (2013) desenvolveram uma estrutura conceitual para tomada de decisão que abrange desde o estágio inicial de projeto, visando otimizar e minimizar os custos de garantia de maneira eficaz e eficiente, considerando políticas de confiabilidade. Os autores abordam algoritmos genéticos para melhorar a confiabilidade do produto e a distribuição *Weibull* de dois parâmetros para modelar o comportamento de falha dos componentes. Para os componentes com dados suficientes disponíveis, foi utilizado o método de ajuste de distribuição padrão usando o procedimento de *Maximum Likelihood Estimation*. Já para componentes com dados insuficientes, a abordagem *Expert Judgment-Base* foi utilizada para estimativa de parâmetros. A mesma técnica abordada neste estudo, *Maximum Likelihood Estimation*, foi mencionada por outros autores, sendo Dai *et al.* (2017) e Dai *et al.* (2019).

O modelo conceitual desenvolvido por Ambad e Kulkarni (2013) apresenta as relações entre diversas variáveis que podem impactar no custo de garantia, conforme Figura 27. Verifica-se que as variáveis de decisão acerca da confiabilidade e manutenção impactam diretamente nas reclamações de garantia, já a política de garantia impacta nas vendas, o que indiretamente impacta nas reclamações de garantia. Além disso, observa-se também que o custo de garantia é impactado diretamente pela política e pela logística de garantia definidas, e é impactado indiretamente pela confiabilidade e manutenção, que impactam na reclamação de garantia e, conseqüentemente, no custo de garantia. Esses impactos nas reclamações e no custo de garantia afetam a satisfação do consumidor, e conseqüentemente na imagem da marca e em seus lucros.

Figura 27 – Modelo conceitual dos parâmetros da garantia



Fonte: Ambad e Kulkarni (2013)

Conforme os autores, quatro tipos de decisões são importantes para a garantia, sendo a política; a confiabilidade; a manutenção e a logística. A política de garantia decide acerca do tipo e parâmetros limites da garantia, que conforme abordado inicialmente por Murthy e Blischke (1992), e posteriormente por diferentes autores (MURTHY; BLISCHKE, 1996; MAJESKE 2007; WANG; XIE, 2017), existem diversas denominações e classificações para o custo de garantia, de forma simples ou combinada, fixa ou flexível, básica ou estendida, sendo uma decisão que irá balizar a venda e o serviço pós-venda. As decisões acerca da confiabilidade refletem sobre a vida útil do produto, sendo uma decisão na etapa de design e engenharia do produto (MURTHY; DJAMALUDIN, 2002), logo, uma decisão inicial que necessita de investimentos, que pode impactar positivamente no custo de garantia, porém não é possível afirmar essa melhoria (MURTHY, 2006). Em relação às decisões de manutenção, são definidos os tipos de manutenção realizadas durante a garantia, necessitando estipular o que não é considerado como manutenção em garantia (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012). Por fim, as decisões acerca da logística de garantia são relacionadas a decisão da rede de prestação de serviços e gerenciamento de sobressalentes. A decisão acerca dos prestadores de serviço impacta diretamente na satisfação do cliente, e conseqüentemente na qualidade e na imagem da marca (MCNEIL; MILLER, 1980), sendo mais uma decisão estratégica na garantia.

Jenab, Pourmohammadi e Sarfaraz (2014) apresentaram um modelo de tomada de decisão relacionado à garantia, baseando-se na ferramenta de decisão multicritério *Interval-Based Analytical Hierarchy Process* (i-AHP), que pondera diferentes alternativas para resolver problemas emergentes, como de peças de reposição, e, em seguida, aplica cálculos resultando em uma matriz de opções ponderadas. Esta matriz servirá de base para a construção da ferramenta da qualidade *House of Quality* (HOQ), desenvolvida sob a metodologia *Quality Function Deployment* (QFD) para incorporar todos os dados gerados relativos a cada opção e alternativa de forma a obter uma solução final que será aquela que obteve o maior número classificado. Além dos autores, outro trabalho adotou ferramenta de decisão multicritério, o *CRITIC* (AMBAD; KULKARNI, 2017).

VI. Previsão de garantia:

Já Gupta, De e Chatterjee (2014) abordam a análise de garantia baseada em dados, adotando uma política bivariada, dependente da idade e quilometragem, para

a construção de um modelo que se baseie nesses limites, para posteriormente prever o cenário de pós-garantia. Os autores pressupõem que se um modelo é construído com base nos dados de garantia de forma eficiente, então os cenários hipotéticos pós-garantia deve corresponder ao cenário pós-garantia com certo grau de precisão. Até o limite de garantia, a distribuição é dada pelo *Decreasing Failure Rate (DFR) Weibull*, e após o limite da garantia a distribuição é dada como *Exponencial Constant Failure Rate (CFR)*. Conforme Ambad e Kulkarni (2013), os dados de garantia são a principal fonte de feedback de desempenho da organização e do produto.

Dai *et al.* (2019), por outro lado, tiveram como objetivo propor um modelo de previsão de sinistros de garantia considerando a taxa de utilização de novos produtos vendidos com garantia bidimensional. O modelo de *Accelerated Failure Time (AFT)* é utilizado para estudar o efeito da taxa de uso na degradação do produto e a distribuição *Weibull* foi utilizado para modelar a falha do produto. Assim, o modelo de previsão baseado em *Non-Homogeneous Poisson Process (NHPP)*, considerando a taxa de uso, é definido, com o intuito de prever o número esperado de sinistros dentro da cobertura da garantia. O método *Conditional Maximum Likelihood Estimation (CMLE)* foi aplicado para estimar os parâmetros do modelo.

VII. Otimização do custo de garantia:

Ambad e Kulkarni (2015) propuseram um modelo de custo de garantia baseado em *Warranty Attractiveness Index (WAI)*, bem como Ambad e Kulkarni (2017). O WAI pode ser utilizado para otimizar a garantia, considerando variáveis de decisão como alternativas de projeto, duração da garantia e nível de suporte. Para isso, os autores usaram uma política não renovável FRW para a proposição do WAI, que é baseado em três índices, o *Cost Criticality Index (CCI)*, *Policy Attractiveness Index (PAI)* e *Support Attractiveness Index (SAI)*. A satisfação do cliente é convertida em parâmetros, que fornece o WAI do componente. Para que essa métrica possa representar não somente o componente, mas a atratividade geral do produto, os autores propuseram o *Overall Attractiveness Index (OAI)*. Conforme os autores, utilizar essa estratégia contribuirá para melhorar a satisfação do cliente ao auxiliar as organizações na proposta de uma garantia mais atrativa em relação à oferecida pelos concorrentes.

Anos mais tarde, Ambad e Kulkarni (2017) propuseram uma programação de metas multiobjetivo para otimização de garantia, com metas a serem alcançadas para o OAI, custo de garantia, de peças de reposição e tempo médio entre falhas. Foi

formulado o WAI, com base nos três índices já mencionados, CCI; PAI e SAI. A partir disso, o parâmetro de custo dos componentes é definido por meio do CCI, o tipo de política e a duração da garantia são capturados pelo PAI e o nível de suporte fornecido é capturado pelo SAI. Visto que o WAI é utilizado para o cálculo de atratividade a nível de componente, os autores utilizaram o OAI para capturar a atratividade da garantia para o produto em estudo. Além disso, a metodologia CRITIC foi utilizada para cálculo do custo da garantia, do *Mean Time Between Failures* (MTBF) e do custo das peças sobressalentes ao longo da vida útil do produto (SPCL) e a determinação dos pesos, sendo um modelo de decisões multicritério, utilizado a fim de dar peso aos critérios.

Por fim, Wang, Li e Xie (2020) abordaram o impacto da impontualidade do cliente na política de Manutenção Preventiva (MP) e na otimização dos custos de garantia, com uma política de garantia 2D com reparação gratuita, com região retangular. Os autores modelaram equações que representassem a pontualidade e impontualidade da MP, utilizando para modelar o efeito da taxa de uso o modelo *Accelerated Failure Time* (AFT), e adotando a distribuição *Weibull* de dois parâmetros, α e β , para modelar as falhas de itens sob taxa de uso nominal, devido a sua flexibilidade para representar taxas de falha crescente, constante e decrescentes.

VIII. Taxa de uso e/ou falha na garantia:

Dai *et al.* (2017), a partir de dados bidimensionais de garantia, estudaram os efeitos da taxa de uso na degradação do produto. Para isso, inicialmente foi modelado o tempo até a primeira falha do produto, e estimado o modelo de falha por meio do *Accelerated Failure Time* (AFT), considerando diferentes taxas de uso. Nesse contexto, a distribuição *Weibull* é a ferramenta mais utilizada para modelar as falhas relacionadas ao uso. Para estimar os parâmetros o método *Maximum Likelihood* é amplamente abordado. Assim, foi adotado o algoritmo *Stochastic Expectation-Maximization* (SEM) para estimar os parâmetros, sendo uma abordagem aplicável em contextos de observações censuradas, e comparado o desempenho das duas técnicas. Além desses autores, outros utilizam a técnica AFT para estimar o efeito da taxa de uso na confiabilidade do item, sendo Wang e Xie (2018); Dai *et al.* (2019); Wang, Li e Xie (2020) e He *et al.* (2020).

Finalmente, Luo e Wu (2019) investigam os custos de garantia conforme três subsistemas, falhas específicas de *software*; falhas específicas de *hardware*; falhas de interação *software-hardware* e erros humanos, estimando custos de garantia e otimizando as políticas de garantia. Para isso, aborda uma política de garantia sem

renovação, com reparo mínimo em falhas de *hardware*, e o tempo de reparo é insignificante. Assim, foram definidas as funções de intensidade de falha e de intensidade de falha cumulativa para falha em *hardware* e em *software*, e definidas as funções para garantia de interação com o usuário.

Falhas de garantia representam impactos na confiabilidade do produto, na satisfação do consumidor, e conseqüentemente, impactando na credibilidade e lucratividade da marca (AMBAD; KULKARNI, 2013). Além disso, reitera-se a importância de pesquisas acerca da gestão dos custos de garantia, visto que, esse pode chegar a bilhões de dólares, (RAI, 2009), demonstrando, assim, a importância de se gerenciar os custos de garantia, sendo uma fonte de benefícios organizacionais, mas também um grande desafio.

Assim, a partir da Revisão Sistemática de Literatura, verificou-se o tema de gestão da garantia não é um tema atual, entretanto, é pouco explorado, com a maior parte dos estudos objetivando modelar cenários para previsão e predição do custo de garantia e da taxa de falha. Dentre as técnicas mais frequentes está o *Accelerated Failure Time* (AFT), para modelar o modo de falha; o uso da distribuição *Weibull* para modelar a falha do produto; e o uso da métrica de taxa de falha por mil. Entretanto, verifica-se uma carência de estudos com foco gerencial, como a falta de um modelo para a gestão do custo de garantia, com a proposição de procedimentos para gerar análises do cenário, bem como balizar análises diante de diferentes objetivos, sendo esse o objetivo da presente pesquisa.

4 PROPOSTA DO MODELO DE GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Um modelo de gestão do custo de garantia deve englobar os aspectos que interferem na gestão de reivindicações de garantia, como políticas, processos e princípios (DÍAZ *et al.*, 2009). Assim, diferentemente do modelo discorrido por Murthy e Djamaludin (2002), que descreve o fluxo do processo de garantia, abordando os aspectos que impactam nesse custo desde a manufatura do veículo até a ocorrência de falhas de garantia, englobando métricas para avaliar o custo por reclamação, o modelo desenvolvido nessa pesquisa tem como diferencial ser orientado para análise de dados da garantia, focando no processo pós-reivindicação. Dessa forma, o modelo não tem como objetivo alterar ou otimizar o processo de fabricação, mas sim gerenciar os dados pós-falhas, ocorridas no período de garantia, por meio da análise de dados de reivindicações.

Diante disso, com base na literatura e nos resultados da revisão sistemática da literatura, foi desenvolvido o modelo de gestão do custo de garantia com foco na indústria automobilística, denominado de *Warranty Management Model 4.0* (WMM 4.0). O modelo, ilustrado na Figura 28, foi desenvolvido para ser utilizado na indústria automobilística. Porém, com as adaptações que se façam necessárias, pode ser adotado por qualquer segmento.

O modelo baseia-se em alguns pilares, sendo:

- a. Qualidade 4.0 (Q4.0), como o incentivo à automatização, o monitoramento dos aspectos da qualidade em tempo real, análises avançadas, como a predição de aspectos da qualidade por meio de modelos inteligentes de *Machine Learning* (ML), aspectos esses mencionados nos 11 eixos que balizam a Q4.0 de Jacob (2017), mencionados também por Tambare *et al.* (2022);
- b. Tomada de decisão baseada em dados, resultando em decisões mais rápidas e assertivas, conforme abordado por Suzuki, Karim e Wang (2001) e Wu (2012);
- c. Soluções automatizadas, sendo um dos impulsionadores da Qualidade 4.0, gerando maior conformidade, qualidade e soluções mais rápidas e assertivas (MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023); e
- d. Modelos da qualidade com foco em melhoria contínua, como o PDCA, MASP e DMAIC, que de acordo com Carpinetti (2012) são modelos convergentes que visam propor melhorias aos processos de forma contínua (SILVA *et al.*, 2021),

adotando diversas ferramentas, resultando em melhoria da qualidade, redução de custos da má qualidade e melhoria na satisfação do consumidor.

Outros conceitos, também necessários para a composição do modelo, foram adotados, como: conceitos relacionados à Gestão e Análise de Dados, como os procedimentos para o pré-processamento e análise, que permitem transformar dados em informações úteis para a tomada de decisão (BRIETZIG, 2022); e conceitos de Gestão de Projetos, em especial o guia PMBOK® (PMI, 2017).

Figura 28 – WMM 4.0 com foco na indústria automobilística



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

O WMM 4.0 é composto por quatro macro etapas, denominadas como (1) Caracterizar Problema; (2) Planejar Solução; (3) Analisar e Automatizar; e (4) Mensurar e Reportar. Essas quatro macro etapas são compostas por 19 atividades, distribuídas entre elas, e são descritas na sequência.

Macro Etapa 1: Caracterizar Problema

É essencial que se entenda o cenário e o objetivo da análise antes de se iniciar o planejamento das etapas e processos para propor uma resolução, como abordado

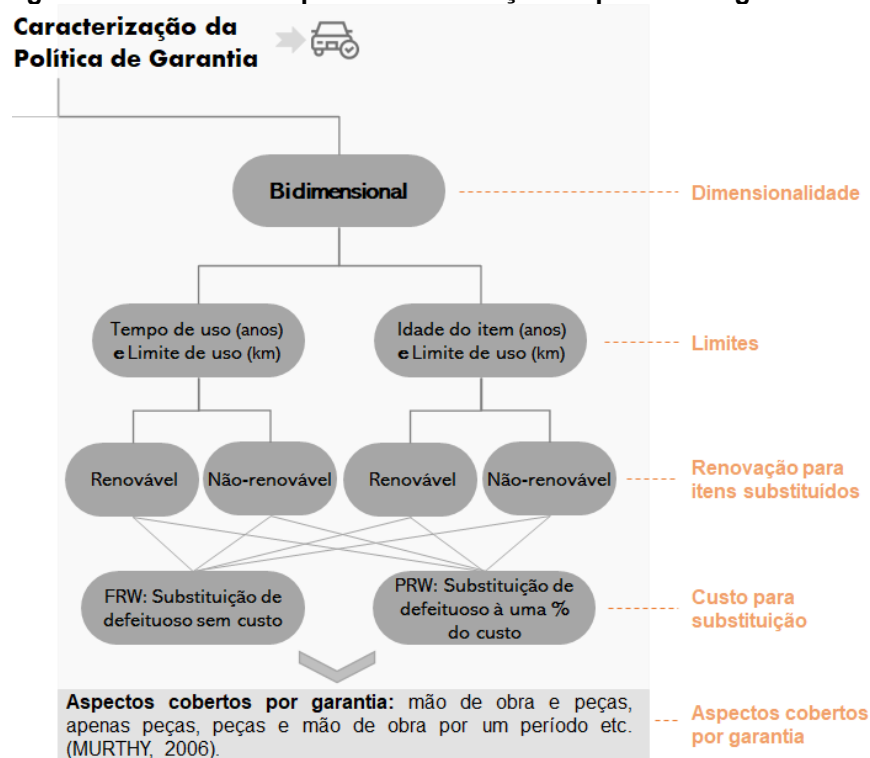
por Díaz *et al.* (2009). O guia PMBOK® tem seu início com o termo de abertura (TAP), ou *Project Charter*, definindo o objetivo do projeto, os *stakeholders*, e os aspectos principais e essenciais do projeto (PMI, 2017). Esse mesmo procedimento pode ser observado em outros modelos com foco em melhoria contínua, como no PDCA, MASP e DMAIC, caracterizados na seção 3.1.2 (CARPINETTI, 2012; CORRÊA, 2019), bem como no modelo de Qualidade 4.0, proposto pela EFQM (2020), que se inicia definindo o objetivo, visão e estratégia da qualidade.

Também, procedimentos para análise de dados são iniciados com a definição do objeto de análise, conforme Brietzig (2022), corroborando modelos para análise de dados, como o CRISP DM, que se inicia com a compreensão do problema que se objetiva solucionar (SCHRÖER; KRUSE; GÓMEZ, 2021). Assim, verifica-se que grande parte dos modelos de gestão têm como etapa inicial a caracterização do cenário, focando na definição do objetivo. Dessa forma, a primeira etapa do presente modelo é a caracterização do cenário, apresentando os aspectos que devem obrigatoriamente ser definidos, podendo acrescentar demais aspectos de acordo com as necessidades da organização. Assim, os procedimentos adotados nessa etapa são:

1.1 Política de garantia

Um bom gerenciamento da garantia depende da compreensão do escopo e aspectos específicos da garantia (DÍAZ *et al.*, 2009). Dessa forma, sugere-se como primeira etapa a caracterização do escopo da garantia (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012), determinando a política contratual adotada, permitindo compreender o cenário ao qual a análise será inserida. Para isso, algumas dimensões são fundamentais, sendo essas descritas em laranja ao lado direito da Figura 29.

Figura 29 – Dimensões para caracterização da política de garantia



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Como abordado por Huang, Chen e Ho (2013), Wang e Xie (2017) e Mitra (2019), grande parte das montadoras comercializam seus veículos com uma política de garantia bidimensional (2D), considerando o tempo de uso e a quilometragem, sem renovação. Isto equivale dizer que o item substituído assume o tempo restante de garantia original, diferentemente da política renovável, que o item substituído ganha nova garantia idêntica à inicial (KARIM; SUZUKI, 2005; MAJESKE, 2007; WU; XIE, 2008). Diante dos diversos tipos de políticas de garantia aplicáveis, faz-se necessário caracterizá-las, para melhor desenvolvimento da análise.

1.2 Processo ou Fluxo da garantia

Um modelo de gestão de garantia deve auxiliar não somente na definição da política mais cabível, mas também deve permitir a compreensão de seus processos (DÍAZ *et al.*, 2009). A compreensão do processo ou fluxo da garantia da organização auxilia a superar possíveis dificuldades ao longo da análise, como identificar responsáveis das atividades; identificar pessoas impactadas; identificar o fluxo dos dados; identificar o *data warehouse* da organização, estabelecendo onde buscar as informações; identificar as ferramentas e tecnologias disponíveis, dentre outros fatores. Dessa forma, proceder com o mapeamento do processo/fluxo da garantia possibilita a compreensão dos fatores anteriormente mencionados, proporcionando,

assim, um melhor entendimento sobre a garantia e, conseqüentemente, viabilizando uma gestão mais eficiente da mesma. Para isso, ferramentas de mapeamento de processos ou fluxogramas podem ser utilizadas (PMI, 2017).

1.3 Objetivos da análise e definição do problema

A identificação do problema, bem como a definição do objetivo são atividades essenciais para o início do planejamento da análise (BRIETZIG, 2022). Conforme Slack et al. (2006), a definição do objetivo e metas bem definidas proporcionam um direcionamento para o projeto, ditando seu sucesso e dos resultados entregues. Assim, a solução só será efetiva se houver um objetivo pré-estabelecido como requisito de sucesso da análise. Diante disso, essa etapa visa mapear os objetivos para realizar a análise, permitindo planejar as necessidades.

Diferentes objetivos podem ser definidos, como realizar análises de previsão de custo com uso de técnicas como Accelerated Failure Time (AFT) (WANG; XIE, 2018; DAI et al., 2019; HE et al., 2020), de falhas e de métricas, como tempo entre falhas (DAI et al., 2017), de identificação de custos e falhas prioritários (RAI, 2009), de preço de venda do produto (WANG; XIE, 2017), de descrição de cenário (GUPTA; DE; CHATTERJEE, 2014), de causa raiz (BLUMENSTOCK et al., 2009; DE; DAS; SUREKA, 2010), de detecção de anomalias, dentre outros.

Cada objetivo pode ser relacionado a um tipo de análise, técnica ou ferramenta, como abordado por Silvestre (2007). Brietzig (2022) acrescenta que a análise de dados deve ser iniciada com a definição do problema que se deseja solucionar. Assim, para possibilitar a definição do tipo de análise, inicialmente define-se os objetivos de forma clara e concisa, juntamente com os interessados do projeto/análise, como identificar causa raiz, por exemplo, por meio de brainstormings com a equipe, como adotado no PMBOK®.

1.4 Interessados do projeto

De acordo com o PMBOK®, os *stakeholders* são os interessados do projeto, que podem afetar ou serem afetados por decisões, atividades ou resultados gerados (PMI, 2017). Conforme proposto no guia, conhecer os interessados permite melhorar o planejamento para atender às expectativas e as necessidades, sendo necessário que sejam atendidas às expectativas de todos os *stakeholders* do projeto/solução (CARPINETTI, 2012).

Como destacado por Maganga e Taifa (2023), a simples análise de dados não é suficiente em um projeto; é necessário apresentar os dados de forma alinhada com

as expectativas dos interessados. Assim, conhecer os interessados facilita no planejamento das entregas, orientando-as de modo a responder às questões, a realizar entregas personalizadas e cumprir com os requisitos dos interessados. Além disso, permite traçar estratégias para maior engajamento dos mesmos, corroborando modelo de Q4.0 proposto por EFQM (2020).

1.5 Fatores de interferência

Conforme as etapas para o gerenciamento de projetos, além de se caracterizar o cenário e definir objetivos, é fundamental para sua gestão efetiva detectar possíveis fatores que podem influenciar, interna ou externamente, no desenvolvimento do projeto (SLACK *et al.*, 2006; PMI, 2017).

Assim, essa etapa visa identificar possíveis aspectos que podem interferir na análise, como a necessidade de solicitação de acesso à dados, softwares e ambientes virtuais da organização; necessidade de treinamentos para uso e acesso de programas e softwares; e necessidade de dados não disponíveis, bem como fatores externos, como regulatórios ou legais, exigindo medidas adicionais (MAGANGA; TAIFA, 2023), que podem impactar no cronograma do projeto. Diante disso, com a identificação antecipada desses fatores, é possível tratá-los com maior agilidade para que não haja interferências no andamento da análise.

1.6 Planejar alocação de recursos

A falta de pessoas capacitadas e recursos financeiros são fatores bloqueantes para o desenvolvimento de soluções, intervenções da Q4.0, bem como para automatização e digitalização de análises (ANTONY *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023; SAIHI *et al.*, 2023). De acordo com PMI (2017), corroborando Slack *et al.* (2006), a correta alocação e gestão de recursos é essencial para o sucesso dos projetos, e visa garantir que os recursos certos estarão disponíveis no momento certo para que a equipe os utilize para desenvolver a solução. Ideia também disseminada no modelo de análise de dados CRISP DM, na qual em sua primeira etapa de compreensão do problema realiza o mapeamento dos recursos necessários e disponíveis (SCHRÖER; KRUSE; GÓMEZ, 2021).

Assim, essa etapa tem como objetivo antecipar as questões relacionadas a disponibilidade e capacidade de a organização prover os recursos necessário para o desenvolvimento da solução, sejam eles humanos, financeiros, materiais ou de tempo, sendo fundamental para o bom andamento do desenvolvimento da solução. Uma ferramenta que pode ser adotada para essa atividade é a Estrutura Analítica do

Projeto (EAP), que demonstra as entregas do projeto em pacotes de atividades menores, mais gerenciáveis, permitindo mapear os recursos para cada um dos entregáveis (PMI, 2017).

1.7 Definir requisitos

O desempenho e qualidade de uma iniciativa dependem da aderência aos requisitos pré-estabelecidos (CROSBY, 1984). Sendo assim, os requisitos são uma forma de avaliar as iniciativas. De acordo com os 11 eixos da Qualidade 4.0, descritos por Jacob (2017), os requisitos de conformidade guiam os processos, pessoas e cadeia em direção aos objetivos de qualidade. Dessa forma, assim como identificar as partes interessadas, para alinhar as entregas com as necessidades, a coleta de requisitos também se faz fundamental, visto que permite avaliar de que forma a solução deve ser planejada e apresentada, permitindo atingir o objetivo estipulado (PMI, 2017).

Portanto, identificar esses requisitos juntamente com o(s) proprietário(s), equipe e interessados do projeto garante que se antecipe ações para que não haja interferências futuras no andamento do projeto, permitindo o planejamento das entregas em conformidade com os requisitos. Sendo assim, os requisitos podem se comportar como critérios de aceitação para finalização de um projeto, definindo, dentre outros aspectos, a forma como os resultados devem ser apresentados; o período em que a análise de ser realizada; os recursos e tecnologias que devem ser utilizadas, dentre outros.






1.8 Definir responsáveis

A definição de responsabilidade deve levar em conta as habilidades necessárias para executar a atividade, e a capacitação e especialidade dos recursos humanos, definindo as obrigações de cada membro responsável. Essa atividade pode ser realizada a partir da EAP desenvolvida no planejamento da alocação de recursos, atribuindo as responsabilidades aos entregáveis por meio da Matriz RACI, por exemplo, que atribui o responsável; quem deve aprovar; quem deve ser consultado e quem deve ser informado para cada atividade destacada (PMI, 2017).

Assim, a primeira etapa do modelo, (1) Caracterizar Problema, pode ser realizada de forma descritiva, ou se utilizando de uma estrutura pré-definida, como baseada no *Canvas Business Model*, conforme Figura 30, sendo importante que essas informações fiquem disponíveis a todos os responsáveis por realizar a análise,

bem como sejam armazenadas na documentação do projeto, conforme boas práticas mencionadas no Guia PMBOK®.

Figura 30 – Canvas da Caracterização do Problema

| | | | |
|---|--|--|--|
| Nome do Projeto: | | Representante do Projeto/ <i>Project Owner</i> : | |
| Patrocinador/ <i>Sponsor</i> : | | Líder e Equipe: | |
| Data de Início: | | Duração: | |
| <p> Definir Política de Garantia</p> <p>Dimensionalidade:</p> <p>Limites:</p> <p>Tipo de renovação:</p> <p>Custo para substituição de peças:</p> <p>Aspectos cobertos por garantia:</p> <p>Outros detalhes:</p> | | <p> Definir Fluxo da Garantia</p> <p>Inserir fluxograma</p> | |
| <p> Objetivos</p> <p>Objetivo 1:</p> <p>Objetivo 2:</p> <p>...</p> <p>Objetivo n:</p> | | <p> Fatores de interferência</p> <p>Internos:</p> <p>Externos:</p> | |
| | | <p> Recursos necessários</p> <p>Financeiros:</p> <p>Humanos:</p> <p>Materiais:</p> <p>Tempo:</p> | |
| Requisitos & Critérios de aceitação: | | Partes interessadas/ <i>stakeholders</i> : | |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Macro Etapa 2: Planejar Solução

Como discutido na etapa anterior, diversos modelos de gestão e de análise de dados tem como fase inicial a definição do problema e o planejamento das atividades. Assim, a segunda etapa do modelo de gestão do custo de garantia tem como objetivo realizar o planejamento da solução.

O planejamento auxilia a alocar os recursos para as atividades, e pode ser replanejado ao longo do projeto conforme necessidade (SLACK *et al.*, 2006). Dessa forma, assim como no ciclo PDCA, no qual a etapa de planejamento visa planejar as soluções (CARPINETTI, 2012), no presente modelo a etapa de planejamento visa planejar todos os aspectos que influenciam na análise. Assim, os procedimentos para essa etapa são:

2.1 Avaliar e definir tipos de análise

A partir da contextualização e definição dos objetivos da análise, inicia-se o procedimento de identificar o tipo de análise cabível ao problema. Conforme Jacob (2017) e Tambare *et al.* (2022), as análises de dados permitem transformar dados em informações úteis, existindo quatro tipos de análise de dados, sendo a Descritiva;

Diagnóstica; Preditiva e Prescritiva (EVANS; LINDNER, 2012; MARQUESONE, 2016; BRIETZIG, 2022). As análises descritivas, diagnósticas e preditivas são adotadas na gestão da qualidade tradicional; já a análise prescritiva, que se baseia em ML e AI - técnicas inovadoras do setor 4.0, é adotada na Qualidade 4.0.

Assim, para identificar o tipo de análise, deve-se avaliar o objetivo da análise e então selecionar o método mais cabível, conforme Figura 31, construída com base na análise de conteúdo.

Figura 31 – Tipos de análise para cada objetivo

| | Tipo de Análise | Objetivos | Técnicas e Ferramentas |
|----------------------------|--|--|---|
| Inteligência do negócio | Análise Descritiva Dados: Resultado obtidos | Resume dados em tabelas e gráficos para melhor compreensão do cenário Responde: O que está acontecendo? | Estatística descritiva <ul style="list-style-type: none"> Dados Qualitativos: Medidas de resumo (tabela de frequência); Gráficos de barras e diagrama circular Dados Quantitativos: Medidas de Posição (média, mediana, moda) e de Dispersão (variância, desvio-padrão, amplitude, quartis); Gráficos: Box Plot, histograma, Polígono de frequências, etc. Machine Learning — Data Mining |
| | Análise Diagnóstica Dados: Resultados obtidos e Históricos | Identificar fenômenos permitindo responder o porquê algo está ocorrendo Responde: Por que motivo? | Estatística <ul style="list-style-type: none"> Probabilidade Correlação (Causa raiz) Machine Learning — Data Mining Ferramentas — What-If Causa Raiz (Pareto, Ishikawa, 5Whys, folha de verificação) |
| Análise de dados avançados | Análise Preditiva Dados: Estatísticos e Históricos | Realizar previsões permitindo compreender o passado e estimar valores futuros Responde: O que pode acontecer? | Estatística — Análise de regressão Machine Learning — Data Mining; Neural Networks; Decision Tree |
| | Análise Prescritiva Dados: Estatísticos | Otimizar tomada de decisão, visando esclarecer o que está ocorrendo e o que virá a ocorrer Responde: O que fazer? | Simulação Estatística — Análise de regressão Probabilidade Machine Learning — Neural Networks; Deep Learning |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

As análises podem ser adotadas de forma combinada, ou seja, inicialmente realizando uma descrição ou diagnóstico de um problema, e posteriormente realizando uma análise de dados avançados para prever ou prescrever algum aspecto do problema. Conforme Sharda, Delen e Turban (2019), as análises ocorrem de forma independente, mas uma aplicação pode levar a outra.

A análise pode basear-se em análises estatísticas, por exemplo, mas também pode necessitar de uma análise mais avançada, como um modelo de Machine Learning (ML). Nesse contexto, as análises de dados menos robustas, como por meio de técnicas estatísticas, permitem realizar análises descritivas, indutivas ou

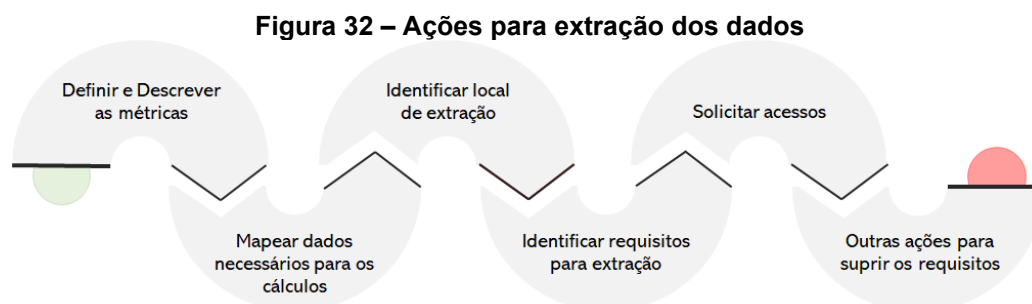
inferenciais, permitindo identificar relações entre conjuntos/variáveis; reduzir a dimensionalidade dos dados; classificar; discriminar e agrupar dados (SILVESTRE, 2007).

Já análises mais robustas, como por meio de modelos de ML e *Deep Learning* (DL), *Neural Networks*, *Isolation Forest* (IF), dentre outros, são adotadas com o intuito de realizar análises de previsão, bem como análises prescritivas, permitindo otimizar a tomada de decisão, gerando como benefício, por exemplo, a capacidade de monitorar continuamente sistemas de detecção e previsão de falhas (ANTONY *et al.*, 2022).

Diante disso, faz-se necessário compreender que primeiramente é necessário caracteriza-se o problema para, em seguida, definir-se a solução. A partir dessa seleção mais cabível ao problema, os procedimentos de análise também são ajustados de acordo com os requisitos da análise selecionada.

2.2 Dados necessários

Os dados de garantia permitem que a organização tenha conhecimento da satisfação do consumidor com o produto ou serviço, ou seja, do desempenho organizacional (AMBAD; KULKARNI, 2013), sendo fundamental para a gestão dos custos de garantia. Assim, de posse da definição do tipo de análise, é possível identificar os dados necessários para desenvolver a solução, permitindo mapeá-los, identificando os locais de acesso e os requisitos para sua extração, conforme Figura 32, tendo, essa etapa, a finalidade de deixar os dados disponíveis para posterior extração.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após definir os dados necessários e identificar o local para extração, faz-se necessário identificar os requisitos para essa extração, já antecipado na etapa 1.5, na qual identifica-se possíveis fatores que podem interferir na solução, respondendo, dentre outras perguntas, qual o formato para extração, se os dados são de fontes

distintas, quais os bancos de dados, se há possibilidade de integrar os dados em mesma base, se são necessários *softwares* específicos, se esses *softwares* e/ou banco de dados apresentam acesso restrito, quem são os responsáveis para solicitar acesso, dentre outras. A partir disso, é possível solicitar os acessos e realizar as ações necessárias para cumprir com esses requisitos.

Diversas barreiras e desafios podem ocorrer nessa etapa, devido à aspectos como volume de dados gerados por diversas fontes; incompletude dos dados; integração dos dados; e desafios relacionados às características dos dados, como truncamento, censura, imprecisão e diagnósticos incorretos (KALBFLEISCH; LAWLESS; ROBINSON, 1991; LAWLESS, 1998; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006; WU, 2012; SUZUKI *et al.*, 2020). Sendo assim, verifica-se que os dados são essenciais, mas existem muitos desafios relacionados à sua extração e gestão, sendo fundamental que ocorra o correto planejamento de sua coleta e análise a fim de não gerar atrasos ou impossibilidade de resolução do problema.

2.3 Caracterizar os dados

Existem diferentes formas de se caracterizar os dados, como qualitativos ou quantitativos; discretos ou contínuos; dados abertos; paramétricos ou não paramétricos; estruturados e não estruturados, dentre outros, bem como existem técnicas adequadas para cada tipo de dado, conforme já discutido por Sharda, Delen e Turban (2019). Assim, a correta classificação dos dados permite tratá-los de forma mais adequada, resultando em análises mais confiáveis, como exemplificado por Ferreira (2020), que aborda que dados paramétricos têm média e mediana representativas, já os dados não paramétricos apresentam a mediana e os quartis uma abordagem mais apropriada.

Assim, essa etapa visa verificar se os dados são compatíveis com as análises desejadas, ou planejar as ações para tal, resultando em análises representativas e confiáveis.

2.4 Definir métricas

De posse dos objetivos, problemática, bem como a avaliação e definição do tipo de análise mais cabível para a resolução do problema e os dados necessários, definem-se as métricas essenciais para a análise, ou seja, os cálculos que deverão ser realizados para que a análise possa ser efetuada, podendo ser métricas estatísticas, como distribuição dos dados, média, mediana, moda, desvio padrão,

dentre outros, ou métricas específicas para a gestão da garantia. Algumas dessas métricas específica para a gestão do custo de garantia são, conforme Quadro 13.

Quadro 13 – Métricas adotadas para gestão do custo de garantia

| Métrica | Descrição e Referências |
|--|--|
| Taxa de falha por mil (K‰) | Número ou frequência de reclamações em um período i , e o tamanho da população no mesmo período, sendo população o número de veículos em garantia no mesmo período (MCNEIL; MILLER, 1980; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; MAJESKE, 2007; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012; HUANG; CHEN; HO, 2013; LUO; WU, 2019). |
| Número ou frequência de defeitos; falhas ou intervenções | Contagem de reparos realizados durante o período de garantia. Pode ser calculado por modelo de veículo, por período em garantia, por concessionária, por fábrica de manufatura, por localização, dentre outros, além de permitir o cálculo da variação das reivindicações ao longo do tempo, por local de fabricação, por ambiente de uso etc., e permitir a comparação entre o número de reivindicações com os concorrentes (MCNEIL; MILLER, 1980; ISAACSON <i>et al.</i> , 1991; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; DIMITROV; CHUKOVA; KHALIL, 2004; MAJESKE, 2007; LU; CHIANG, 2008; HUANG; CHEN; HO, 2013; ANTONY <i>et al.</i> , 2022). |
| Desvios ou variações em concessionárias | Caracteriza-se por anomalias encontradas nos custos ou intervenções de garantia, podendo ser de origem fraudulentas ou de possível detecção precoce de problema. Para isso, pode-se calcular a média por reparo e então identificar o desvio em relação à média; ou desenvolver uma metodologia mais compatível com os dados utilizados (LAWLESS, 1998; HOTZ <i>et al.</i> , 2001; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012). |
| Custos de reparo | Custos gastos em reivindicações de garantia. Esse dado pode ser calculado por modelo de veículo, por concessionária, por período em garantia, por localização, dentre outros. De posse desse dado é possível realizar previsões para o planejamento dos planos fiscais (LAWLESS, 1998; HOTZ <i>et al.</i> , 2001; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012). |
| Número de veículos em garantia | Parque/frota circulante em garantia. Esse dado pode ser útil para calcular veículos em garantia por localidade, por modelo, por período de garantia, dentre outros. Permite identificar o montante que a empresa deve reservar para garantia, além de se planejar com peças de reposição (MCNEIL; MILLER, 1980; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; MAJESKE, 2007). |
| Confiabilidade | É uma questão técnica, que impacta na qualidade do produto, e conseqüentemente, no custo de garantia (MURTHY, 2006) que varia ao longo do ciclo de vida do produto, representada por uma curva denominada “Curva de Fundo de Banheira”, também podendo ser descrita como uma probabilidade de falha em um período t . Algumas distribuições são comumente utilizadas para análise de confiabilidade, como Exponencial, Chi-Quadrado, e a distribuição <i>Weibull</i> , que é amplamente abordada para análise de confiabilidade (LAWLESS, 1998; HOTZ <i>et al.</i> , 2001; SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; RAI, 2009; WU, 2012). |
| Custo de mão de obra | Custos de mão de obra gastos em reivindicações de garantia. Pode ser calculado por modelo de veículo, por concessionária, por localização, dentre outros (HOTZ <i>et al.</i> , 2001). |
| Custo de garantia por unidade vendida | Métrica importante para definir o preço do produto, que representam o custo gasto em garantia por veículo. A partir disso, é possível que a organização realize um planejamento de gastos (reservas) em garantia ao longo do período da garantia. Essa métrica permite tomadas de decisão gerenciais importantes, como a decisão de descontinuar um modelo, ou modificações nos projetos a fim de reduzir os custos (WANG; XIE, 2018). |
| Custo do ciclo de vida durante a vida útil de um produto | Custo total de operação de um único produto ao longo de sua vida útil, considerando custos de aquisição, operacional, manutenção, reparo e de descarte (WANG; XIE, 2018). |

| Métrica | Descrição e Referências |
|--|--|
| Custo do ciclo de vida ao longo do ciclo de vida de um produto | Definido pelo produto do número de vendas totais e o LCC-I (WANG; XIE, 2018). |
| Custo por unidade de tempo | Custo de garantia distribuído pelo período de garantia (WANG; XIE, 2018). |
| Tempo médio entre falhas (MTBF) | É a divisão do número de horas em bom funcionamento pelo número de paradas para manutenção. Essa métrica pode ser utilizada para determinar confiabilidade do produto (AMBAD; KULKARNI, 2017). |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Além das métricas específicas para a gestão do custo de garantia, métricas estatísticas para avaliar a distribuição dos dados podem ser adotadas, permitindo compreender os dados para, posteriormente, selecionar a análise mais cabível. Nesse contexto, conforme abordado na literatura, pode-se utilizar gráficos, como o Histograma, e testes estatísticos, como Shapiro-Wilk e Qui-quadrado de Pearson (QQ), dentre outros, considerando o número da amostra para a seleção do mais adequado (TORMAN *et al.*, 2012; FERREIRA, 2020; ANUNCIAÇÃO, 2021). Assim, conforme descrito, essas são algumas das métricas possíveis de se utilizar em gestão de custo de garantias, sendo possível acrescentar métricas de acordo com o objetivo da análise, sendo o registro e descrição da métrica para possível replicação da análise uma boa prática.

Além disso, o uso das métricas podem ser suficientes para gerar a solução, em caso de soluções menos robustas, mas também podem ser consideradas somente como variáveis ou “*features*”, caracterizadas como recursos de entrada para modelos mais robustos, como de ML (LANOVAZ; GIANNAKAKOS; DESTRAS, 2020), acrescentando a etapa de “*feature engineering*”, que é a criação de métricas para auxiliar o modelo ML.

Macro Etapa 3: Analisar e Automatizar

Após toda a caracterização do projeto de garantia, do planejamento da solução, dá-se início a etapa de análise e automatização da solução. De acordo com Sader *et al.* (2021) e Saihi *et al.* (2023) a automatização de análises é uma das evoluções resultantes da Indústria 4.0 na área da qualidade, permitindo uma gestão mais eficaz e tomadas de decisão baseada em dados. Assim, nessa etapa a solução é efetivamente desenvolvida, sendo os procedimentos para execução dessa etapa:

3.1 Extrair dados

Os dados só têm qualidade se satisfazerem os requisitos de uso pretendido (HAN, 2005). Assim, as duas primeiras etapas são extração e pré-processamento dos

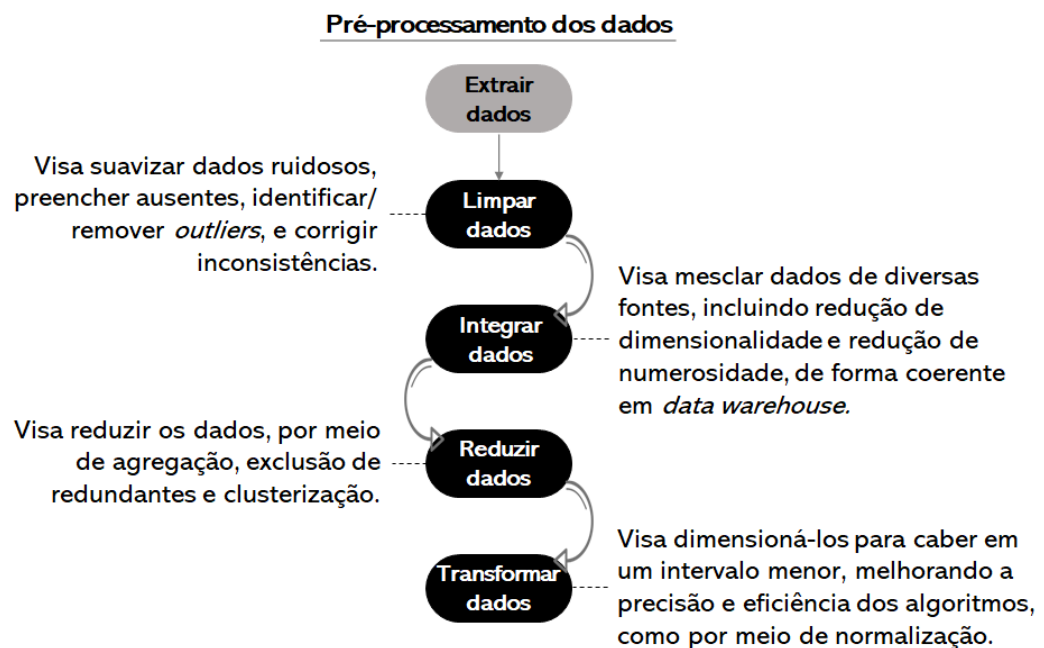
dados, tornando-os disponíveis para o desenvolvimento da solução. A definição e identificação das características e requisitos da extração dos dados foi planejada na etapa anterior, sendo essa etapa responsável pela extração efetivamente, considerando o tipo de análise que será realizada para selecionar o formato que os dados devem ser extraídos e armazenados.

3.2 Pré-processamento dos dados

Han (2005) aborda que se os usuários desconfiam da qualidade dos dados, dificilmente irão acreditar nos resultados das análises. Assim, o pré-processamento visa extrair dados úteis dos dados brutos e refiná-los para que possam ser utilizados nas análises, visto que, conforme abordado por Labrinidis e Jagadish (2012), nem sempre os dados coletados estão prontos para análise. Esse pré-processamento pode ser realizado em planilhas eletrônicas, ou por meio códigos em linguagem de programação, como Python, em editores de código aberto, por exemplo.

Tsai *et al.* (2015) abordam as atividades do pré-processamento sendo, além da extração, a limpeza, integração, transformação e redução dos dados, etapas também descritas por Sharda, Delen e Turban (2019). Conforme os autores, essa atividade permite eliminar dados em duplicata, dados com informações incompletas, inconsistentes, ruidosas ou discrepantes. Han (2005) e Sharda, Delen e Turban (2019) abordam que existem diversas técnicas de pré-processamento, conforme Figura 33, e que as técnicas não são mutuamente exclusivas, ou seja, podem ser combinadas.

Figura 33 – Etapas de pré-processamento dos dados



Fonte: Adaptado de Han (2005), e Sharda, Delen e Turban (2019)

Assim, conforme abordado anteriormente, os dados de garantia apresentam diversos desafios devido ao volume, fonte e suas características (SUZUKI; KARIM; WANG, 2001; WU, 2012; SUZUKI *et al.*, 2020), representando diferentes atributos, como dados temporais, dados numéricos, dados categóricos, dentre outros. Assim, para uma boa análise de dados da garantia esses desafios devem ser tratados (BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006), adotando, para isso, as atividades de pré-processamento. Portanto, após a extração dos dados, são estabelecidas e adotadas as técnicas de pré-processamento cabíveis a fim de torná-los úteis e disponíveis para as análises.

3.3 Calcular métricas

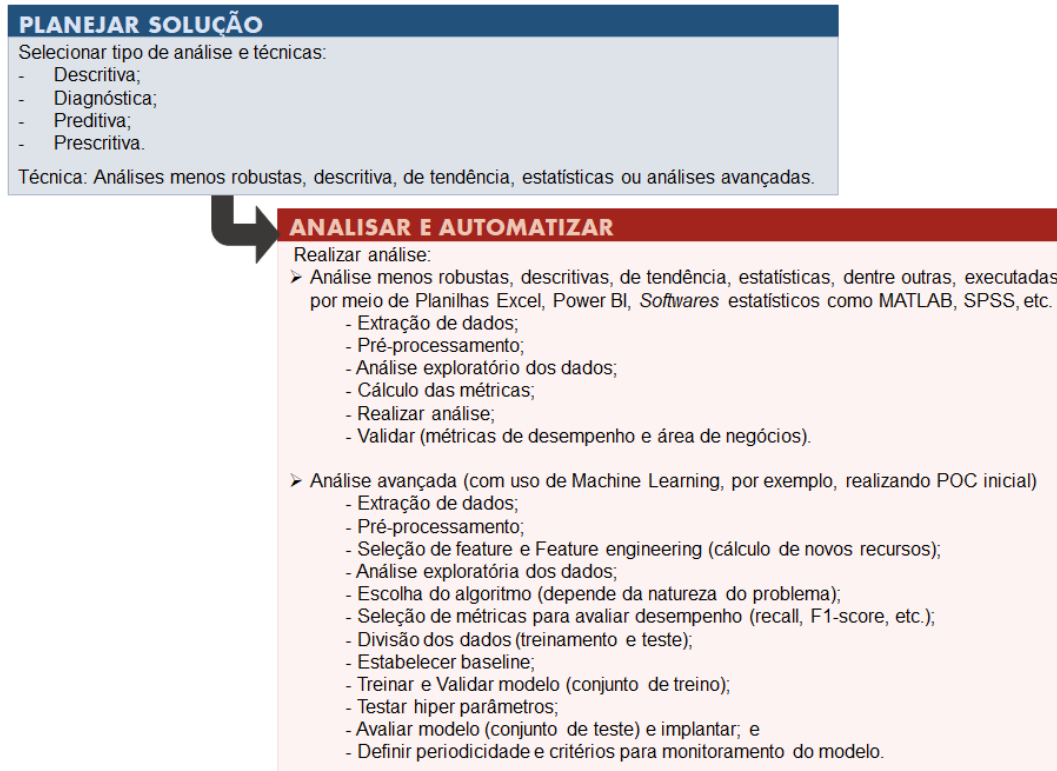
Conforme González-Prida e Crespo Márquez (2012), a adoção de métricas é essencial para a gestão dos custos de garantia. Assim, as métricas foram formalmente estabelecidas e os dados pertinentes estão à disposição para o desenvolvimento da análise, sendo possível realizar o cálculo das métricas necessárias nesta etapa.

Assim, conforme evidenciado no Quadro 13, algumas métricas podem não ser disponibilizadas automaticamente por sistemas de gestão de dados, sendo necessário realizar os cálculos a partir dos dados pré-processados. Como exemplo de métricas calculadas, a taxa de falha, que pode ser calculada por meio de dados de reivindicações de garantia em um período i (LUO; WU, 2019); desvios de custos, que podem ser calculados por meio da média e dispersão (GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012); confiabilidade, calculada por meio de probabilidades de falha em um período t (WU, 2012); tempo média entre falhas, calculado como o número de horas em bom funcionamento dividido pelo número de paradas por falha (AMBAD; KULKARNI, 2017); dentre outras, devendo ser calculadas com base nos dados primários, como número de reivindicações e custos.

3.4 Executar análises e Validar

Essa etapa visa executar a análise em conformidade com o planejamento da solução, como exemplificado na Figura 34.

Figura 34 – Procedimento para os tipos de análise



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, conforme ilustrado, a solução pode basear-se em análises menos robustas, como análises descritivas, de tendência, ou estatísticas, por exemplo, mas também pode necessitar de uma análise avançada, como um modelo de Machine Learning (ML), cabendo a cada tipo de análise e técnica um procedimento específico (PINA, 2019).

Mesmo com a definição de soluções mais avançadas desde o planejamento da solução, uma possibilidade é realizar uma etapa inicial, menos robusta, a fim de utilizá-la para validar a análise/solução. Assim, essa análise inicial, precedendo a análise avançada ou sendo o foco principal da análise, pode ser realizada, por exemplo, por meio de análises/métricas estatística em planilhas eletrônicas, Power BI, *softwares* como MATLAB, SPSS, dentre outros, validando as métricas e a metodologia. A adoção de uma análise inicial, menos robusta, gera a oportunidade de identificar aspectos não pensados no planejamento da solução, permitindo melhorar análise, sem ter uma alta complexidade e necessidade de recursos e *skills* mais avançados.

No caso de análises posteriores mais avançadas, que sucedem a análise inicial, pode ser realizado uma PoC (*Proof of Concept*), permitindo uma análise com escopo limitado, com maior agilidade e demandando menos recursos, gerando um

protótipo ou teste da solução, permitindo tomar a decisão sobre o desenvolvimento da análise avançada. Além disso, a prática de realizar um teste menos robusto permite identificar oportunidades ou soluções não pensadas anteriormente, como inserção de outras variáveis, por exemplo, permitindo tornar o modelo mais robusto e melhorar a efetividade da análise.

Como abordado, cada tipo de análise pode demandar procedimentos diferenciados, como exemplo, para desenvolver um modelo de detecção, previsão ou predição com algoritmos de ML, após a extração; pré-processamento; seleção; cálculo de variáveis (métricas) e análise exploratória, faz-se necessário identificar o tipo de modelo que melhor se adequa ao problema, podendo ser supervisionado ou não supervisionado; de regressão, classificação, *clustering* ou de redução de dimensionalidade; modelos por tipo de arquitetura, como *Neural Networks*, *Decision Tree*, dentre outras. A partir dessa definição, verifica-se se são necessários pré-processamentos específicos, como por exemplo, para usar algoritmos de ML faz-se necessário tratar os dados categóricos, visto que essa técnica lida somente com dados numéricos (VITÓRIA, 2022).

Em suma, nessa etapa deve-se adotar os procedimentos de análise em consonância com o tipo de solução definida, para que seja realizada a análise e posterior validação. Para ocorrer a validação definitiva, pode ser necessário alguns *loopings* de melhoria na análise, até que chegue a uma solução adequada, como adotado em iniciativas de melhoria contínua. Além disso, define-se a periodicidade de manutenção e avaliação da solução. Após validada, a solução passa a ser automatizada/industrializada.

3.5 Automatizar solução e Validar

A automação mescla tecnologias e gestão, dando origem a novos modelos de negócios, sendo um dos pilares da Qualidade 4.0 (TAMBARE *et al.*, 2022; ANTONY *et al.*, 2023), gerando benefícios como a difusão mais eficiente das informações e ações de monitoramento mais eficientes (LIU *et al.*, 2022); vantagem competitiva, melhoria da experiência do consumidor, lucratividade (ANTONY *et al.*, 2023); gestão da qualidade mais eficiente e melhoria de processos e na conformidade das soluções (JACOB, 2017), dentre outros. Representa a automação dos resultados gerados nas análises de dados, denominado de *deployment automation*, conforme Schröer, Kruse e Gómez (2021).

Assim, a partir da proposição da solução, são realizadas as atividades de automatização/digitalização da mesma, permitindo que a análise e os procedimentos sejam executados sem, ou quase sem, intervenção humana, transformando a solução ou protótipo da solução em um produto, conforme abordado por Sharda, Delen e Turban (2019). Existem diferentes áreas que podem ser automatizadas, como por exemplo, a comercial, bancária, industrial, dentre outras. No contexto da automatização industrial, pode haver a automação do projeto, do planejamento e da produção (BAYER; ECKHARDT; MACHADO, 2011), sendo que, cada área que se deseja automatizar pode apresentar suas particularidades.

A implantação da solução varia de acordo com os requisitos da organização e de acordo com as ferramentas disponíveis, podendo ter como resultado esperado um relatório, a digitalização, ou até mesmo a automação de parte da solução ou da solução completa. Assim, faz-se necessário identificar os recursos disponíveis, ferramentas e *softwares*, bem como se a organização apresenta pessoas capacitadas para tal, como cientistas e engenheiros de dados para realizar esse procedimento, ou se é necessário terceirizar a automação da solução para posterior aplicação na organização.

Macro Etapa 4: Mensurar Ganhos e Reportar

Conforme abordado por Hansen, Mowen e Heitger (2022), a mensuração do desempenho, por meio de informações e gestão das informações, permitem a tomada de decisão gerencial mais assertiva, sendo um ativo fundamental para as organizações. Assim, a última etapa do modelo tem como objetivo reportar a informação de acordo com os critérios pré-estabelecidos na etapa de planejamento, determinando a periodicidade da avaliação e a periodicidade de revisão do modelo ou análise, bem como definir e aplicar as métricas de avaliação de desempenho.

4.1 Desenvolver relatório e Reportar

A partir da proposta da solução, faz-se necessário a elaboração do relatório, que permite apresentar os resultados obtidos. Nesse contexto, tecnologias podem dar suporte à atividade, resultando em maior inteligência, interatividade, e visualização facilitada, como o uso de *dashboards* (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019), e *Augmented Reality* (JACOB, 2017). Estas tecnologias são relevantes para modelos de gestão da Qualidade 4.0, visto que a forma como os resultados são apresentados também é essencial para a efetividade da solução. Assim, essa etapa visa desenvolver o relatório do resultado obtido, em consonância com os critérios de

aceitação do projeto, definido na etapa de planejamento da solução, seguindo a periodicidade definida, para que, por fim, seja reportado aos interessados.

4.2 Avaliar desempenho

A última etapa do modelo de gestão do custo de garantia refere-se à avaliação do desempenho da análise, podendo se utilizar de KPIs (*Key Performance Indicator*), como mencionado por Antony *et al.* (2022), adotando métricas como redução de custo, aumento de lucratividade, redução de defeitos, redução no tempo de entrega, dentre outras métricas, que devem ser alinhadas com o objetivo da análise realizada. Assim, são definidas as métricas que permitem avaliar o desempenho da solução, bem como a periodicidade a qual essa avaliação deverá ser realizada, e avaliado o desempenho da solução proposta.

Assim, encerram-se as quatro macro etapas do modelo, com suas 19 atividades, proposto.

A próxima seção trata da aplicação e validação do modelo proposto, na unidade da Renault Brasil.

5 APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DOS CUSTOS DE GARANTIA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o modelo proposto na presente pesquisa, o mesmo foi aplicado em um estudo de caso na montadora multinacional francesa Renault. A indústria apresenta uma planta no Brasil, situada no estado do Paraná em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. Conforme descrito na seção 2.2, alguns fatores foram determinantes para a seleção da Renault Brasil para a aplicação do modelo WMM 4.0 em m estudo de caso.

A aplicação do modelo foi gerenciada pela metodologia ágil *SCRUM*, ferramenta adotada por todas as unidades do Grupo Renault. O *SCRUM* baseia-se em uma sequência de iterações de duração fixa, denominadas de *sprints*, efetuando a verificação do trabalho realizado ao fim de cada *sprint* e gerando os *feedbacks* das partes interessadas e envolvidas no projeto. Além disso, avalia-se o desempenho de cada *sprint*, permitindo validar se o objetivo foi cumprido (GIDEL; ZONGHÉRO, 2020). Essa metodologia tem como benefício a segmentação do projeto em entregas menores, o que facilita no planejamento da solução, tornando-a menos complexa e mais gerenciável, bem como permitindo alinhar as expectativas dos interessados com as entregas das *sprints* definidas (GIDEL; ZONGHÉRO, 2020).

Algumas delimitações foram impostas para a aplicação do modelo e apresentação dos resultados, sendo:

- Embora o modelo tenha sido aplicado para gerar solução para os quatro países LATAM, que são Argentina, Brasil, Colômbia e México, somente os resultados do Brasil foram demonstrados. O objetivo foi ilustrar a aplicação do modelo, já que os procedimentos para os demais países são semelhantes;
- Dois métodos diferentes foram desenvolvidos para solucionar o problema, seguindo as etapas do modelo WMM 4.0. Ambos serão demonstrados utilizando dados do Brasil para apresentar os resultados; e
- Os resultados apresentados serão referentes aos alertas de concentração de custos de concessionárias do Brasil para o mês de agosto de 2023, usando esse mês para demonstrar a aplicação dos dois métodos desenvolvidos.

Assim, os procedimentos do WMM 4.0 foram adotados e os resultados obtidos foram apresentados.

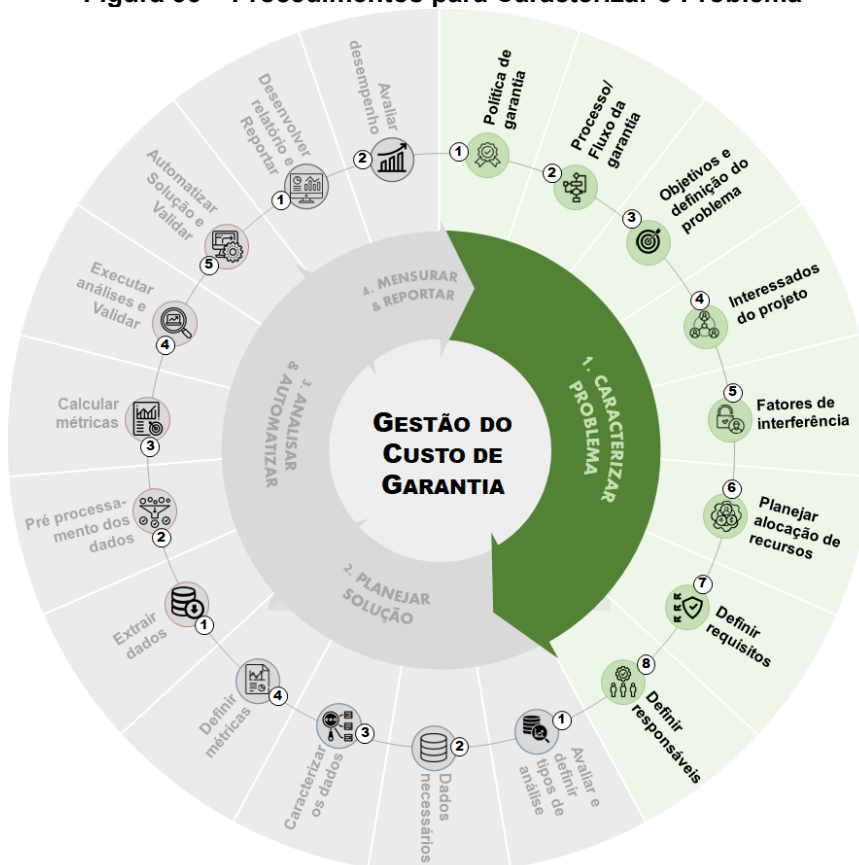
Para melhor compreensão do leitor, a apresentação da aplicação do Modelo WMM 4.0, proposto na Figura 28, será feita seguindo suas quatro macro etapas, como

descrito na seção de desenvolvimento do modelo (Seção 4), inserindo uma figura com suas atividades correspondentes.

Macro Etapa 1: Caracterização do Problema

A primeira macro etapa é composta por oito atividades, conforme ilustrado no modelo e recapitulado na Figura 35, as quais foram aplicadas e seus resultados descritos na sequência.

Figura 35 – Procedimentos para Caracterizar o Problema



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

1.1 Política de Garantia

De acordo com o princípio da contabilidade, riscos e perdas devem ser considerados durante o período contábilístico. Assim, o Grupo estabelece a política a ser adotada em conformidade com o país no qual será aplicada, revisando-a a cada três anos, atendendo a todos os requisitos legais e regulamentares; aos objetivos econômicos do Plano de Qualidade; aos aspectos comerciais; aos acordos de parceria; e aos requisitos técnicos.

Assim, a política adotada na América Latina (LATAM), especificamente do Brasil, seguindo as dimensões propostas na Figura 29, é, conforme Quadro 14.

Quadro 14 – Dimensões da política de garantia LATAM

| Dimensão | Descrição da política de garantia LATAM |
|--------------------------------------|---|
| Dimensionalidade | Bidimensional (2D), cobrindo defeitos de material ou montagem. |
| Limites | Limite de uso (quilometragem) e/ou tempo de uso, ou seja, a garantia fica válida até que um dos limites seja atingido primeiro, sendo 3 anos de uso e/ou até que atinja uma quilometragem, sendo essa específica para cada modelo de carro vendido. |
| Renovação para itens de substituição | Política de garantia renovável para peças substituídas durante o período de garantia, porém, tal garantia não abrange todas as peças, havendo algumas especificidades, como peças de desgaste (pastilha, palheta etc.). |
| Custo para substituição | Substituição de defeitos sem custo para o consumidor |
| Aspectos cobertos por garantia | Mão de obra e peças substituídas. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

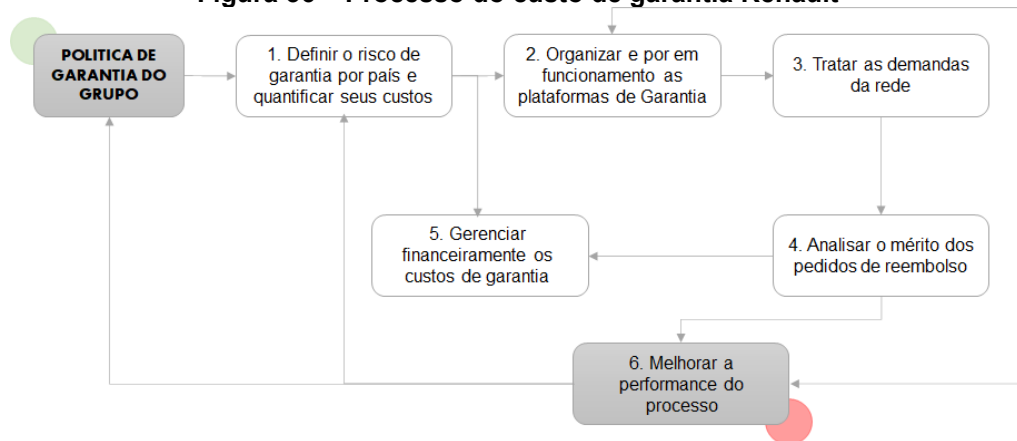
Embora a política de garantia varie conforme as diretrizes da empresa para cada país, a característica de bidimensionalidade (2D) é comum em todos os territórios, tendo como limitantes o tempo de uso e/ou quilometragem do veículo, definida como a principal política na indústria automobilística, conforme descrito em outros estudos (WU, 2012; WANG; XIE, 2017; MITRA, 2019).

Além disso, a política varia conforme o produto e, nesse estudo, o foco é a garantia aplicada à veículos de passeio não frotistas. Essa informação é importante, visto que o padrão de uso do produto pode impactar negativamente na política adotada. Sendo assim, para definir um tipo de política para um produto, deve-se considerar aspectos como padrão de uso, finalidade, dentre outros, corroborando os estudos de Majeske (2007) e Wang e Xie (2017).

1.2 Processo e Fluxo de Garantia

A partir da análise de documentos que balizam a garantia, bem como por meio de reuniões com responsáveis pela garantia Brasil, o processo de garantia foi descrito em seis subprocessos, conforme Figura 36, descrito na sequência.

Figura 36 – Processo do custo de garantia Renault



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

O processo se inicia definindo o risco de garantia por país e quantificando seus custos, definindo a oferta de garantia e sua cobertura no âmbito da política validada pela direção geral. São quantificados os custos de garantia adotando modelos de cálculos específicos para cada país, permitindo estabelecer a reserva de um valor para garantia por veículo, sendo a provisão de um valor. Posteriormente, o modelo de cálculo é validado, permitindo acompanhar o desempenho dos veículos, comparando os encargos ocorridos de garantia e uso da provisão estabelecida, comparando previsões e despesas efetivas. São identificados os possíveis riscos e definidas as ações para mitigá-los, como exemplo, o risco de adotar um modelo de cálculo não representativo, que pode ser tratado por meio de controle permanente e periódico do modelo.

Após, são colocadas em funcionamento as plataformas de Garantia, seguindo os requisitos e padrões da organização. Essas devem disponibilizar meios e ferramentas para processar as reclamações de garantia, tanto no fabricante quanto na rede de concessionárias, ou seja, nas concessionárias autorizadas a realizarem serviços para o Grupo Renault, permitindo integração da informação e comunicação entre os atores.

Com as plataformas de garantia em correto funcionamento, as concessionárias que realizam serviços de reparo, substituição ou troca de peças em veículos em garantia, registram esses serviços na plataforma integrada com a fabricante, seguindo os procedimentos pré-estabelecidos pela Renault. A partir disso, essas demandas são tratadas e analisadas pela Renault, com o objetivo de avaliar a legitimidade da solicitação de reembolso e a conformidade com os protocolos pré-estabelecidos, processo também explorado no trabalho de Hotz *et al.* (2001), que

destaca a necessidade de integração dos sistemas dos dados dos fabricantes e das concessionárias (SUZUKI *et al.*, 2020).

Essa integração de sistemas acarreta grandes volumes de dados de garantia (LAWLESS, 1998; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006), gerando desafios, mas também oportunidades de análises, como:

- Detectar veículos cujas despesas de garantia não acompanhem as previsões projetadas;
- Controlar as despesas de garantia e seus méritos;
- Avaliar veículos com maior incidência de garantia;
- Identificar *top* problemas pelo número de incidência;
- Verificar a qualidade dos sistemas de tratamento a montante dos pedidos de reembolso, possibilitando aferir o nível de serviço; e
- Verificar fraudes por parte das concessionárias (HOTZ *et al.*, 2001).

Assim, avaliar o nível de serviço prestado pelas concessionárias, bem como o mérito das solicitações de reembolso são atividades essenciais para a satisfação do consumidor, visto que, essa satisfação nem sempre está atrelada a qualidade do produto, podendo ser impactada pela qualidade do serviço prestado (MCNEIL; MILLER, 1980).

Portanto, com a avaliação do mérito dos pedidos de reembolso, a Renault da andamento ao pagamento dos reembolsos, quando detectada conformidade nos pedidos. Além de guiar os pagamentos, esses pedidos de reembolso são fonte de informação acerca da performance do produto e da garantia, fornecendo *insights* valiosos para a organização, como: sobre a qualidade e desempenho dos produtos; os problemas mais recorrentes; se a provisão de garantia planejada é suficiente para o produto, dentre outros.

Por fim, a partir das informações obtidas na avaliação dos méritos de pedidos de reembolso, propõe-se melhorias na *performance* do processo do custo de garantia, por meio da melhora das plataformas de garantia, e verificando a qualidade dos sistemas de tratamento dos pedidos. Além disso, a partir da validação do pedido de reembolso, como integrante de um custo de garantia, os dados são inseridos no banco de dados da garantia da organização.

Além do processo, foram identificados os atores chave do processo de garantia, permitindo identificar responsáveis por atividades que podem interferir na resolução do problema a ser definido, conforme Quadro 15.

Quadro 15 – Atores-chave do processo e atribuições

| Atores-chave | Atribuições |
|------------------------------------|--|
| Diretor da Qualidade | Pilota o processo de formalização da orientação garantida. Coordena a preparação e síntese do dossiê sob aprovação do Diretor de Operações (COO). Garante a qualidade da decisão certa e sua implementação. |
| Diretor de Pós-Venda | Antecipa a evolução do mercado e realiza <i>benchmarking</i> dos concorrentes. Acompanha a oferta de garantia dos concorrentes. Acompanha necessidades do projeto, orientando-o. Implementa a orientação de garantia, a configuração de ferramentas de garantia e o controle dos pedidos de apoio. |
| Departamento de Controle Gerencial | Garante o cumprimento dos procedimentos em conformidade com a política de garantia. Avalia riscos e custos relacionados à mudança de políticas. Realiza provisões para o risco de garantia de cada veículo com base em riscos comprovados. |
| Corporate | Define os métodos, padrões, processos, procedimentos da garantia. Responsável pelos custos dos incidentes cuja causa seja uma peça original do Grupo. Garante o reembolso de despesas de garantia das filiais e incorporadores filiados. |
| Filiais/ Subsidiárias | Responsável pelos custos de incidentes cujas causas são provenientes de peças locais. Verifica a legitimidade da cobertura da garantia de incidentes. Coordena e audita a rede e os importadores anexos. Define com sua rede as condições de reembolso de operações e pintura, taxas de desconto para as peças de reposição por categoria, custos de gestão com teto para peças de reposição. Assegura o reembolso da sua rede primária. |
| Rede ou importadores anexos | Assume os custos de reparação para reparações de não conformes realizadas com os métodos recomendados e divulgados pelo Grupo. Responsável pelo funcionamento e auditoria da sua rede para importadores anexados. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Após descrever o processo e os atores chave, foi descrito cálculo do custo de garantia. A garantia é composta por custos fixos e custos variáveis, e representada por um grupo de serviços/custos, que são registrados por meio de códigos no banco de dados da garantia, sendo essas siglas identificadas no momento do serviço prestado junto a rede. Esses custos são, conforme descritos no Quadro 16.

Quadro 16 – Códigos de custos da garantia

| | Código do Custo | Descrição |
|----------|---|---|
| Variável | Garantia Contratual (3 anos) | Custo de garantia teórica do primeiro, segundo e terceiro ano do veículo |
| | Anticorrosão e pintura | Reparos relacionados a corrosão e pintura de veículos durante o período de garantia contratual |
| | Garantia de peças de reposição | Garantia de peças de reposição e acessórios (para caso de problema). Cobre a garantia de reparo da peça e mão de obra |
| | Cortesias/ <i>goodwill</i> | Cortesias comerciais fora do período contratual de garantia. Entra no Programa de Satisfação Comercial |
| | Garantia para recuperação de fornecedores | Entra no Programa de Satisfação Comercial |
| | Prestações complementares - Assistência | Serviços adicionais (reboque, solução de problemas, veículo de substituição etc.) |
| | Revisão dos custos de acordo com as despesas atuais (por lote de faturas) | Entra no Programa de Satisfação Comercial |
| Fixo | <i>recall</i> | Operações técnicas especiais |
| | Recuperação Fornecedores | Recuperação de fornecedores em casos de operações técnicas especiais |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, a partir desse processo, e dos códigos de custo de garantia, é possível conhecer os principais aspectos da garantia Renault LATAM.

1.3 Objetivos da análise e definição do problema

A garantia Renault compõe o Cost of Goods Sold (COGS), sendo o COGS o custo que compõe o produto à montante, referindo-se aos custos de fabricação do objeto físico, como o custo de peças e de matéria prima, e à jusante, sendo o custo de prestação de serviços incluídos no preço de venda, como a logística e manutenção à jusante, o custo de garantia, dentre outros.

Conforme relatório da Renault, o custo de garantia representa uma porcentagem do COGS, impactando na margem de lucro da organização, de forma que, quanto menor o COGS maior a margem de lucro. Assim, uma das metas estabelecidas pelo Grupo no ano de 2023 foi reduzir o custo de garantia.

Diante disso, a problemática definida pela organização foi: Como reduzir o custo de garantia? A partir desta pergunta de partida, por meio de um brainstorming com a equipe, mapeou-se que dentre as oportunidades identificadas, a detecção de concentração nos custos de garantia por parte da rede de concessionárias seria uma fonte possível de revisar e reduzir os custos, estabelecendo esse o objetivo da aplicação do modelo de gestão do custo de garantia WMM 4.0. Diante da detecção de concentração de custos em determinada concessionária, um alerta é criado e disponibilizado aos *stakeholders*, especificamente ao setor de garantia e pós-vendas, permitindo que esse faça a avaliação do alerta e tome as medidas necessárias para resolução do problema.

Essas concentrações podem ser resultado de diferentes efeitos, como concessionárias com grande volume de vendas, concessionárias localizadas em região sem a presença de outras concorrentes, mas também podem ser resultado de fraudes e procedimentos maliciosos a fim de aumentar o reembolso do custo de garantia, dentre outros. Assim, a partir desses alertas, o pós-vendas realiza a análise das concentrações, identificando justificativas ou causas para tal, e definindo uma solução para o problema, como aplicação de auditorias e definição de procedimentos junto às concessionárias.

Esse objetivo estende-se, inicialmente, às indústrias situadas na região LATAM, especificamente nos países Brasil, Argentina, Colômbia e México, sendo plantas que desenvolvem veículos de passeio.

1.4 Interessados do Projeto

Após a compreensão dos principais aspectos da política, processo, atores e cálculo da garantia da Renault LATAM, foram identificados os interessados do projeto, que podem ser compreendidos como os clientes do projeto, como o gestor, que deu início ao projeto, outros gestores, clientes externos e internos, usuários, ou qualquer parte que seja impactada pelas informações ou resultados gerados, conforme estipulado na metodologia de gestão de projetos ágil (GIDEL; ZONGHÉRO, 2020).

Assim, para a caracterização dos interessados da solução, os mesmos foram segmentados de acordo com a metodologia ágil, englobando os responsáveis por gerar a solução e os interessados e impactados pela solução (*stakeholders*). Assim, os responsáveis por gerar a solução, aplicando o modelo WMM 4.0, são:

- Patrocinador do projeto (*Sponsor*): Representa o responsável que solicitou a análise, e no caso da Renault, o vice-presidente (VP) da qualidade LATAM;
- Representante do projeto (*Product Owner – PO*): O responsável por acompanhar o desenvolvimento, passar os requisitos e critérios de aceitação ao desenvolvedor, mas também sendo um intermediário entre o desenvolvimento da solução e de outros interessados da empresa. No caso da Renault, o PO é o coordenador da Engenharia de Qualidade Brasil;
- Líder da equipe (*Scrum Master*): Responsável por gerir a equipe e o andamento do projeto, representado, nesse caso, pelo líder de domínio funcional da Renault, juntamente com a doutoranda;
- Equipe: São as pessoas responsáveis por desenvolver/executar a solução. Nesse caso, foi formada pela doutoranda, com suporte de membros da equipe da Qualidade, de Ciência de Dados e da equipe responsável pela Garantia, no Brasil; e

Stakeholders: São as pessoas impactadas pelos resultados da solução e que podem influenciar no projeto. Os *stakeholders* têm interação com o representante do projeto, *Scrum Master*, e com o time, passando requisitos e critérios da solução. Assim, nesse caso, os *stakeholders* identificados foram os responsáveis das áreas da qualidade, especificamente da qualidade do cliente e do pós-vendas, comércio, garantia e de custos.

1.5 Fatores de Interferência

Após definir a problemática e o objetivo da aplicação do modelo, foram identificados possíveis fatores que possam interferir no desenvolvimento da solução. A identificação prévia de problemas e riscos minimizam possíveis impactos que

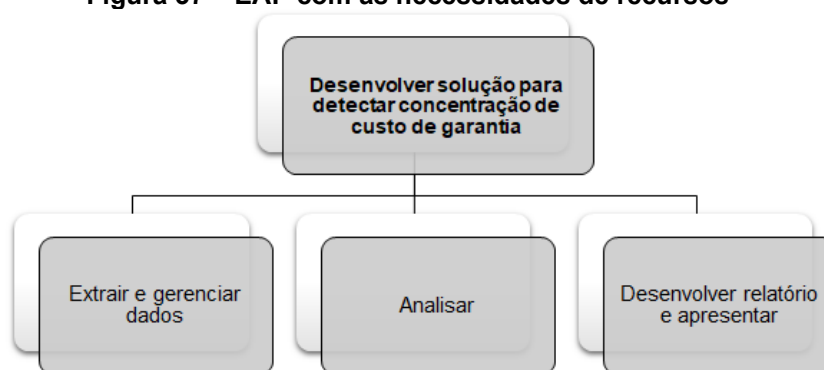
possam ocorrer no andamento do desenvolvimento da solução, como destacado no Guia PMBOK®, (PMI, 2017). Assim, para identificar essas interferências, foram realizadas reuniões com a equipe e com o representante do projeto, evidenciando algumas ações necessárias, sendo:

- Solicitar acessos ao banco de dados da garantia;
- Solicitar acesso ao GitHub;
- Solicitar acesso ao Google Cloud Platform (GCP), especificamente ao ambiente de Qualidade;
- Solicitar acesso aos documentos de garantia LATAM, permitindo estudar os parâmetros, processos e pessoas envolvidas a nível LATAM;
- Realizar treinamento para o uso do banco de dados da garantia, necessitando, para isso, agendar o treinamento com os responsáveis;
- Solicitar *download* dos *softwares* necessários para desenvolver a solução, sendo o TIBCO Spotfire e o Visual Studio Code (VSCode); e
- Realizar treinamento para uso do ambiente GCP, em específico ao ambiente de qualidade;
- Realizar treinamentos para o uso dos *softwares* TIBCO Spotfire e VSCode, bem como da linguagem de programação utilizada, sendo Python; e
- Realizar reuniões de alinhamento com os *stakeholders* do projeto à nível LATAM, juntamente com o representante do projeto (PO), a fim de identificar requisitos, critérios de aceitação e alinhar as expectativas, bem como, desenvolverem um procedimento para uso da informação gerada pelo projeto.




1.6 Planejar alocação de recursos

Para identificar os recursos necessários para desenvolver a solução, a mesma foi segmentada em pacotes de entregas, facilitando identificar os recursos necessários, conforme EAP ilustrada na Figura 37.

Figura 37 – EAP com as necessidades de recursos



Recursos necessários:

| | |
|---|---|
|  Materiais | <ul style="list-style-type: none"> - Notebook: a organização disponibilizou um notebook para o desenvolvimento da solução; - Acesso ao banco de dados: a organização forneceu o acesso e o treinamento para o uso; - Nuvem para armazenar dados e a solução desenvolvida: a organização disponibilizou pasta no OneDrive; - Software para pré-processar dados, para realizar análise e para desenvolver relatório: a organização cedeu acesso aos softwares necessários, com as licenças ativas, sendo do pacote Office, VSCode e TIBCO Spotfire. |
|  Humanos | <p>Um responsável por realizar a atividade. No caso da presente solução, o responsável será a doutoranda, com auxílio da equipe do projeto.</p> |
|  Financeiros | <p>A solução não envolve custos extras, somente a remuneração das pessoas envolvidas no desenvolvimento da solução e os custos dos softwares já adotados pela organização.</p> |



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Conforme observa-se na Figura 37, a EAP foi resumida em somente três atividades, a fim de simplificar essa identificação de recursos. Todos os recursos mapeados foram providos pela organização a fim de que a solução fosse desenvolvida.

1.7 Definir Requisitos

Na sequência, foram coletados os requisitos da solução com o PO e a equipe do projeto por meio de *brainstormings*, considerando também os requisitos e critérios alinhados com os *stakeholders*, conforme Figura 38.

Figura 38 – Requisitos da solução

| | |
|---|--|
|  <p>EQUIPE & INTERESSADOS</p> | <p>Sponsor – Patrocinador: VP da qualidade LATAM Product Owner (PO): coordenador da Engenharia de Qualidade Scrum Master: líder de domínio funcional da Renault e a doutoranda; Equipe: membros da área da Qualidade; Suporte: membros da área da Ciência de Dados e do Pós-vendas.</p> <p>Interessados: Setores da Qualidade, Garantia, Comercial e Pós-vendas.</p> |
|  <p>REQUISITOS DO PROJETO</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ A solução deve englobar os quatro países LATAM (Brasil, Argentina, Colômbia e México); ▪ Deve ser escalável, com potencial de replicação às outras unidades do mundo; ▪ Os dados de incidentes devem ser extraídos do banco de dados de garantia do Grupo Renault; ▪ A forma de apresentação deve ser visual, com uso de gráficos que facilitem a visualização dos resultados, por meio de um <i>dashboard</i> específico para o projeto; ▪ Os interessados da informação gerada devem compreender a informação gerada e estar aptos a utilizarem a informação/<i>dashboard</i>; ▪ Os ganhos devem ser quantificados, ou seja, deve-se avaliar o desempenho dos alertas gerados e enviados ao pós-vendas; ▪ Os alertas LATAM devem ser gerados até o 21º dia de cada mês, possibilitando que o pós-vendas rotule cada alerta como: concentração ou não concentração, o que permitirá avaliar o desempenho da análise; ▪ O relatório de cada país deverá ser encaminhado para os responsáveis da garantia de cada país, possibilitando que esses responsáveis tenham acesso ao <i>dashboard</i> gerado; ▪ Os dados devem estar no <i>Google Cloud Platform (GCP)</i>, sendo o suíte de computação em nuvem utilizado pela organização; e ▪ A análise deverá ser o mais automatizada possível no ambiente do GCP. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Além dos requisitos já listados na Figura 38, para a extração dos dados de incidentes em garantia deve-se considerar somente custos que compõe o custo de garantia. Para isso, foram mapeados os códigos de custos de garantia, referentes às despesas relacionadas a garantia de pintura; de anticorrosão; garantia da bateria do veículo; do motor; da eletrônica de potência; da caixa de câmbio; garantia de reparação de acessórios, centrais e locais; de peças faltantes na entrega do veículo; garantia de peças de reposição; garantia de reparação, com peças e mão de obra; e garantias para *recalls*.

Ainda quanto aos requisitos, definiu-se que a análise deve ser repetida mensalmente, extraindo dados atualizados, gerando novas detecções e encaminhando os resultados aos respectivos responsáveis da garantia de cada país.

1.8 Definir responsáveis

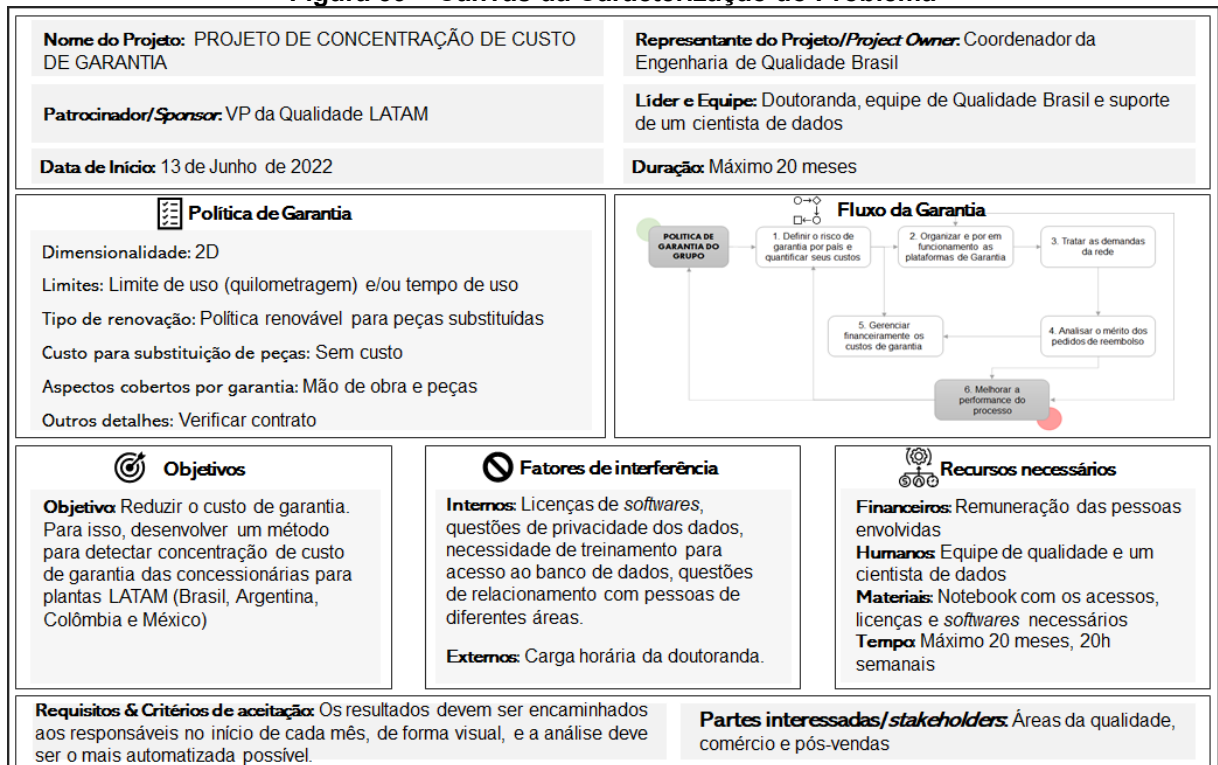
Nesse caso, a responsável por realizar a solução foi a própria doutoranda, visto que se trata da aplicação de um modelo desenvolvido durante um doutorado, denominado de WMM 4.0, o qual está sendo aplicado na indústria a qual se desenvolveu uma parceria Indústria-Academia para validar o modelo. Assim, embora seja de responsabilidade da doutoranda, a solução será desenvolvida com o apoio do representante do projeto (PO) na indústria e com a equipe do projeto, definidos na atividade 1.3.

Entretanto, para a aplicação do modelo WMM 4.0 em outros contextos e por outras organizações, faz-se necessário identificar a equipe e as responsabilidades de

acordo com a organização e com o problema a ser tratado, realizando os devidos ajustes.

Com a finalização da etapa 1.8, a primeira macro etapa se encerra, e o Canvas da Caracterização do Problema, proposto na Figura 30, é preenchido, conforme Figura 39.

Figura 39 – Canvas da Caracterização do Problema

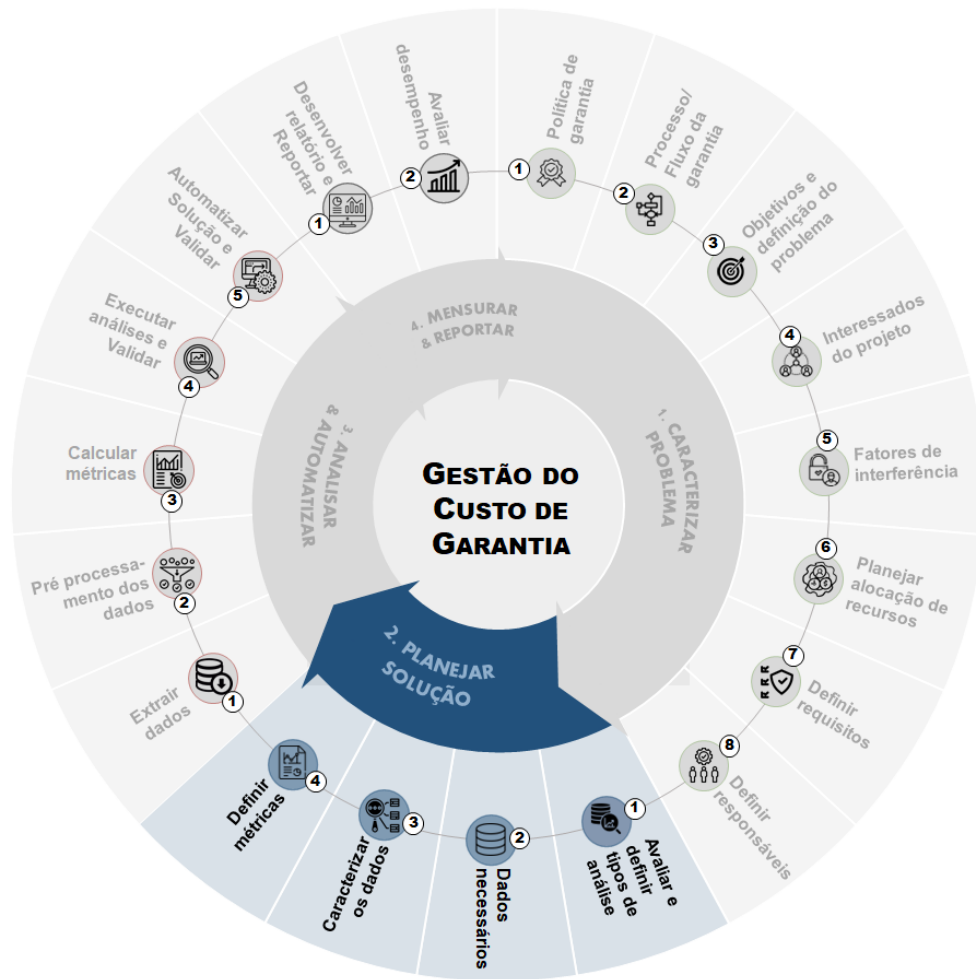


Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Macro Etapa 2: Planejar Solução

A partir disso, dá-se início a segunda etapa, abrangendo o Planejamento da Solução, com seus procedimentos, conforme ilustrado na Figura 40 e descritos na sequência.

Figura 40 – Procedimentos para Planejar a Solução

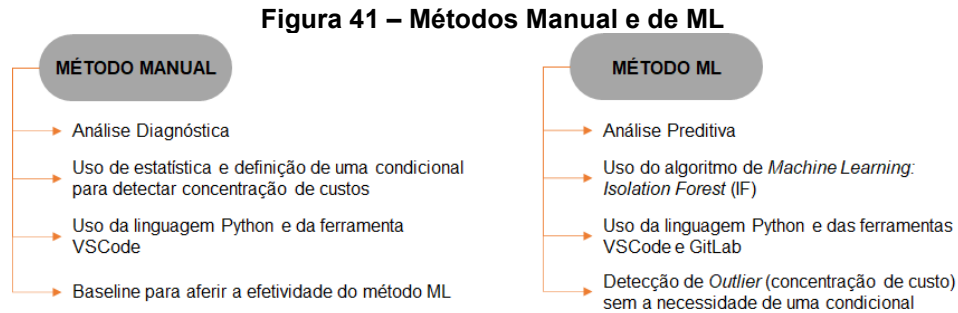


Fonte: Elaborado pela autora (2024)

2.1 Avaliar e definir tipos de análise

A partir da definição do objetivo sendo a detecção de concentração de custos de garantia por parte das concessionárias prestadoras de serviço para as plantas situadas nos países LATAM, bem como das classificações dos tipos de análise, discutidas anteriormente por Evans e Lindner (2012), Marquesone (2016) e Brietzig (2022), é possível planejar o tipo de análise mais cabível ao problema, para que posteriormente seja executada.

Assim, foram definidas duas análises para gerar a solução, uma análise menos robusta, denominada de análise manual, e outra por meio de *Machine Learning* (ML), trazendo inteligência para a análise, conforme Figura 41.



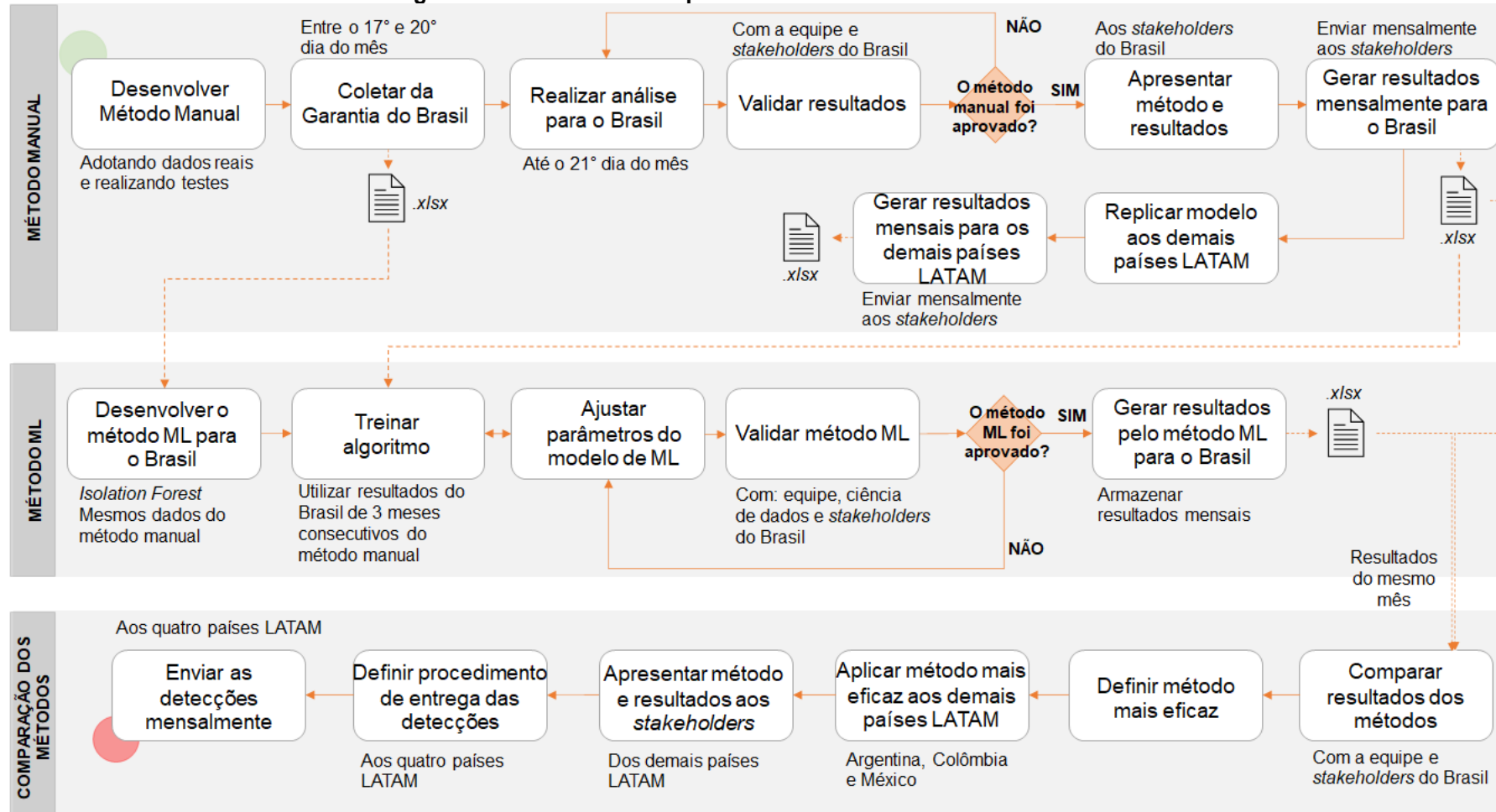
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A primeira análise, a manual, irá adotar medidas estatísticas, utilizando dados de incidentes, a fim de desenvolver uma fórmula que detecte *outliers*, como abordado por Sharda, Delen e Turban (2019), sendo realizado com o intuito de ser um *baseline*, ou seja, uma base para aferir a efetividade da análise avançada. Assim, é classificada como uma análise diagnóstica, embasada por Marquesone (2016), que aborda seu uso para identificar fenômenos específicos ocorridos nos dados. Para o desenvolvimento do método manual, será utilizado o *software* VSCode para a criação do código da análise, utilizando a linguagem de programação Python, permitindo tornar a análise mais rápida e automática.

Posteriormente, para a segunda análise, denominada de Método ML, utiliza-se do ML para detectar automaticamente concentrações de concessionárias, sendo uma análise mais avançada e inteligente (JACOB, 2017; PINA, 2019), que, por meio de dados passados, treina um modelo que pode ser adotado posteriormente para identificar concentrações de custos de concessionárias em dados futuros de forma automática. A adoção de ML nessa solução permite compreender o cenário ocorrido da garantia (ANTONY *et al.*, 2022), aprender, e, a partir disso, adotar procedimentos futuros, caracterizando-se como uma análise preditiva, utilizando o *Isolation Forest* (IF), modelo sugerido para detecção de *outlier* (PINA, 2019). Para esse método, serão utilizados os *softwares* VSCode para modelar, o GitLab, sendo uma plataforma de hospedagem de código que permite trabalhar em uma rede de colaboração, e a linguagem de programação Python.

O procedimento adotado para o desenvolvimento do método manual e de ML, e posteriormente a comparação de ambos para definição do mais eficaz, foi descrito na Figura 42.

Figura 42 – Procedimentos para desenvolvimento dos dois métodos



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para o desenvolvimento do método manual, inicialmente para o Brasil, os dados serão coletados do banco de dados da garantia da Renault, em formato .xlsx, entre o 17º e o 20º dia de cada mês, permitindo que os resultados da análise sejam gerados até o 21º dia do mês, conforme os requisitos dos interessados descritos na Figura 38. Essa coleta de dados deverá adotar parâmetros de busca que serão definidos na etapa seguinte (2.2 Dados necessários).

De posse dos dados, estes serão estudados, e testes serão realizados a fim de definir as técnicas de análise mais cabíveis para gerar a solução, como por exemplo a análise da distribuição dos dados a fim de definir as estatísticas mais cabíveis. A partir disso, será desenvolvida uma fórmula condicional para identificar concentração de custos de garantia nas concessionárias, conforme abordado por Ferreira (2020) e Anunciação (2021).

A partir da definição do método manual, será gerado o primeiro resultado, que será utilizado para validar o método com a equipe, o representante do projeto (PO) e os *stakeholders* do Brasil. Também, com esse primeiro resultado e com a validação, o método é apresentado detalhadamente aos *stakeholders* do Brasil, sendo os setores da qualidade, comercial e pós-vendas, permitindo que os interessados compreendam o método e os resultados gerados por ele. A partir disso, o método manual passará a ser aplicado mensalmente para o Brasil e seus resultados compartilhados com seus *stakeholders*, que, por meio da análise das detecções, irão classificá-las em “concentra” e “não concentra”.

A partir da validação por parte da planta Brasil, o procedimento de análise do método manual e os resultados das demais plantas LATAM (Argentina, Colômbia e México) serão apresentados para seus respectivos representantes, permitindo que estes tenham conhecimento da análise e adotem procedimentos para lidar com esses resultados.

Validado o método manual, o método de ML passa a ser desenvolvido para o Brasil. Esse método não necessita que seja desenvolvida uma fórmula condicional para detectar concentração, utilizando um algoritmo treinado para tal. Assim, para esse método, primeiro deve ser realizado o treinamento do algoritmo, por meio de dados passados, para depois ser aplicado em dados futuros. Dessa forma, após a geração de resultados por meio do método manual por três meses consecutivos para o Brasil, esses dados passados serão utilizados para treinar o modelo do método ML.

Após o desenvolvimento do modelo de ML, é possível realizar ajustes de seus hiper parâmetros até que se tenha resultados satisfatórios na ótica da equipe e do responsável do projeto. A partir disso, o método de ML passa por validação. Para isso, além dos resultados obtidos para o Brasil com o método de ML, também serão utilizados os resultados do *baseline* e a expertise da equipe do projeto e do representante do projeto.

De posse da validação do método ML para o Brasil, as análises de concentração para o Brasil passarão a ser realizadas por ambos os métodos, permitindo que os resultados para um mesmo mês sejam comparados, permitindo estabelecer qual o método mais eficaz para solucionar o problema. Para essa comparação, novamente será utilizada a expertise da equipe do projeto, do PO e dos *stakeholders*. Somente após a validação do método mais eficaz, que, se ao selecionar o método de ML, esse será replicado aos demais países LATAM.

2.2 Dados necessários

A partir da definição do objetivo e tipos de análise, foram identificados os dados necessários para desenvolver a solução. Para isso, foram mapeados os tipos de dados disponíveis para extração no banco de dados da garantia, e definidos os necessários, sendo estes, primeiramente, adotados para desenvolver o método manual, e posteriormente, o método de ML, sendo eles conforme Quadro 17.

Quadro 17 – Dados necessários para desenvolver a solução

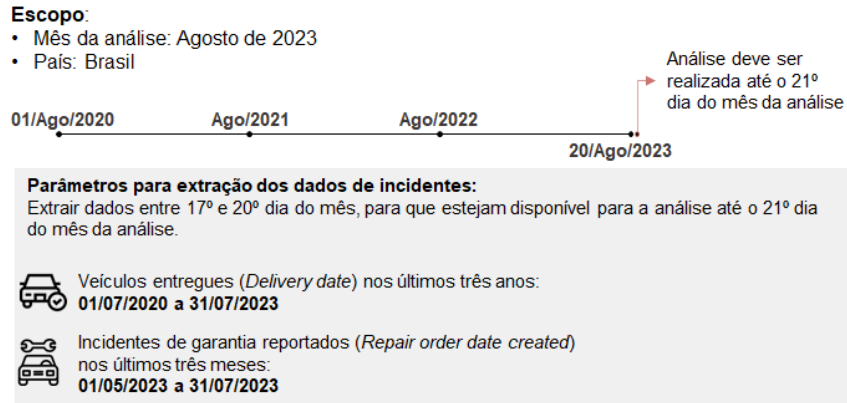
| Dados da garantia | Descrição | Local de extração | Requisitos para extração e uso |
|--------------------------|--|------------------------------------|--|
| Código do projeto | Refere-se modelo de veículo | Banco de dados da garantia Renault | Solicitar acesso; Realizar treinamento para uso do banco de dados; e Cumprir com as diretrizes de proteção dos dados |
| Código da concessionária | Código de registro da concessionária que realizou o reparo | | |
| Cidade da concessionária | Cidade a qual a concessionária está localizada | | |
| Código do serviço/peça | Código que a concessionária que realizou o serviço registra | | |
| Registro do veículo | Identificação do veículo o qual o serviço foi realizado | | |
| Custo de Garantia | Custo registrado para realizar o serviço, que abrange peças, mão de obra e lubrificantes | | |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para a extração dos dados de incidentes, foi necessário definir os parâmetros de busca. Definiu-se então que devem ser considerados veículos entregues nos últimos três anos e incidentes ocorridos nos últimos três meses, definindo também o

país de análise, como exemplo para a análise de incidentes no Brasil no mês de agosto de 2023, conforme Figura 43.

Figura 43 – Parâmetros para coleta dos dados de incidentes do Brasil para agosto de 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Esses parâmetros foram definidos por meio da análise do comportamento das vendas, tempo de garantia e dos reparos dos veículos. A política da organização disponibiliza dois meses para que os pedidos de reembolso por parte das concessionárias sejam auditados pela Renault, para que, conforme o resultado, seja realizado o pagamento dos serviços prestados. Assim, adotar a coleta de dados de incidentes referente a 3 meses permite que sejam identificadas possíveis fraudes ou anomalias nos dados no início da prática, evitando a recorrência ou impactos maiores para os custos de Renault. Além disso, definiu-se como data de entrega de veículos (*Delivery date*) os últimos 3 anos, período o qual um veículo mantém-se em garantia nas plantas LATAM. Por fim, definiu-se como período de coleta dos dados entre o 17º ao 20º dia do mês, visto que a análise deve ser realizada no 21º dia do mês, conforme mencionado anteriormente.

2.3 Caracterizar os dados

Compreender os dados permite definir técnicas mais cabíveis para a solução (FERREIRA, 2020). Sendo assim, a partir da identificação dos dados necessários para o projeto, estes foram caracterizados, a fim de evitar o uso de técnicas inadequadas. As características dos dados são, conforme Quadro 18.

Quadro 18 – Caracterização dos dados

| Dados da garantia | Caracterização dos dados |
|--------------------------|---|
| Código do projeto | Dados categóricos, discretos e estruturados |
| Código da concessionária | Dados numéricos, discretos e estruturados |
| Cidade da concessionária | Dados categóricos, discretos e estruturados |
| Código do serviço | Dados categóricos, discretos e estruturados |
| Registro do veículo | Dados categóricos, discretos e estruturados |

| Dados da garantia | Caracterização dos dados |
|-------------------|---|
| Custo de Garantia | Dados numéricos, discretos e estruturados |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Embora o código da concessionária seja apresentado no formato numérico, ele deve ser tratado como categórico, visto que é como se fosse a credencial da concessionária, não sendo possível realizar operações matemáticas com a informação. Sendo assim, essa será uma das etapas realizadas no pré-processamento dos dados.

Além disso, o registro do veículo é um dado categórico, mas sua soma representa a quantidade de incidentes, podendo ser realizada de acordo com o agrupamento necessário, como exemplo, a soma de registros de veículo por código de serviço, representa o número de incidentes por código do serviço; ou a soma de registros de veículo por código do projeto, representa o número de incidentes que cada modelo de veículo obteve. Sendo assim, essa será uma agregação que deverá ser realizada no momento da execução da análise.

2.4 Definir métricas

A partir da definição do objetivo da análise, e da observação dos dados disponíveis para desenvolver a solução, foram identificadas as métricas que deverão ser calculadas para que seja possível criar os métodos de identificação de concentração. Assim, as métricas calculadas são, conforme Quadro 19.

Quadro 19 – Métricas calculadas

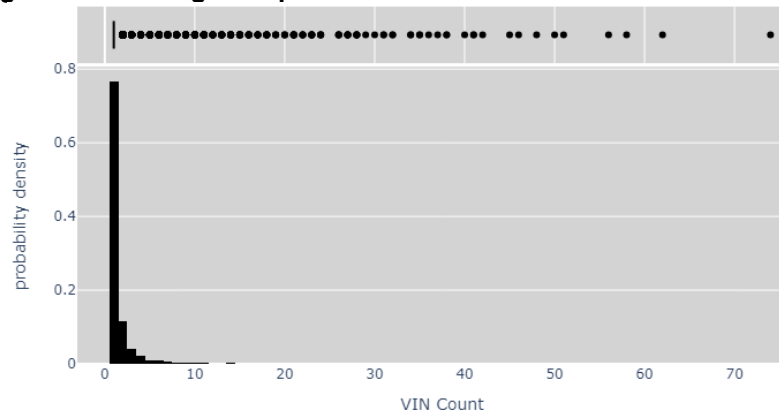
| Métricas calculadas | Descrição e Forma de cálculo | Caracterização dos dados |
|-------------------------|---|--------------------------------------|
| Contagem de incidentes | Realiza a contagem de registro do veículo agrupados por código do projeto, número da concessionária, cidade da concessionária e código do serviço \sum Registro do Veículo | Quantitativo, numérico e estruturado |
| Custo total de Garantia | Realiza a soma dos custos agrupada por código do projeto, número da concessionária, cidade da concessionária e código de serviço \sum custos de garantia | Quantitativo, numérico e estruturado |
| Custo por Incidente | Apresenta a média do custo de um código de serviço específico para uma concessionária específica, agrupados por código do projeto, número da concessionária, cidade da concessionária e código de serviço $\frac{\text{Custo total de garantia}}{\text{Contagem de Registro de Veículos}}$ | Quantitativo, numérico e estruturado |

| Métricas calculadas | Descrição e Forma de cálculo | Caracterização dos dados |
|---------------------------|--|--------------------------------------|
| Concentração de Incidente | <p>Apresenta a percentagem de incidentes de um código de serviço que uma concessionária detém em relação ao total de incidentes do mesmo código de serviço, agrupados por código do projeto, número da concessionária, cidade da concessionária e código de serviço</p> $\frac{\text{Contagem de Registro de Veículos}}{\sum \text{Registro do Veículo (total incidentes do mesmo cód. serviço)}}$ | Quantitativo, numérico e estruturado |
| Concentração de C/I | <p>Apresenta a percentagem de custo/incidente de um determinado código de serviço que uma concessionária detém, agrupados por código do projeto, número da concessionária, cidade da concessionária e código de serviço</p> $\frac{(C/I)}{\sum C/I \text{ (total } \frac{C}{I} \text{ do mesmo cód. serviço)}}$ | Quantitativo, numérico e estruturado |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir das métricas definidas, a distribuição dos dados de incidentes foi analisada a fim de definir a técnica que pode ser adotada para identificar *outliers* no registro de incidentes e de custos das concessionárias para o método manual. Para isso, foi elaborado um histograma da coluna de número de incidentes, metodologia abordada por Anunciação (2021) corroborando Torman *et al.* (2012), e aplicado o teste de Shapiro-Wilk, teste estatístico que pressupõe que se o *p_value* > 0,05 a distribuição é normal (MIOT, 2017). A partir dessas duas técnicas, verificou-se que a contagem do número de incidentes não apresenta uma distribuição normal, com o valor *p* < 0,05, conforme Figura 44.

Figura 44 – Histograma para normalidade do número de incidentes



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, conforme discutido por Ferreira (2020) e Anunciação (2021), dados não paramétricos, ou seja, sem distribuição normal, apresentam os quartis como abordagem mais apropriada. Além disso, conforme discutido por Zhao *et al.* (2013) e Cristo (2021), os métodos mais mencionados para detecção de *outliers* em análises descritivas, caso do método manual, são o método dos três desvios padrão (3σ) e o

método do Boxplot, com o segundo utilizando o cálculo dos quartis 1 e 3 (Q1 e Q3) para o cálculo da amplitude interquartil (IQR), e a partir disso calcular o valor de *outlier*, conforme descrito no Quadro 20.

Quadro 20 – Cálculo de Outlier por meio dos métodos 3 σ e Boxplot

| Método 3 σ | Método Boxplot |
|---|---|
| Outlier superior = média + 3 σ Outlier inferior = média – 3* σ | IQR = Q3 – Q1 Outlier Superior = Q3 + 1,5*IQR Outlier inferior = Q3 - 1,5*IQR |

Fonte: Adaptado de Zhao *et al.* (2013)

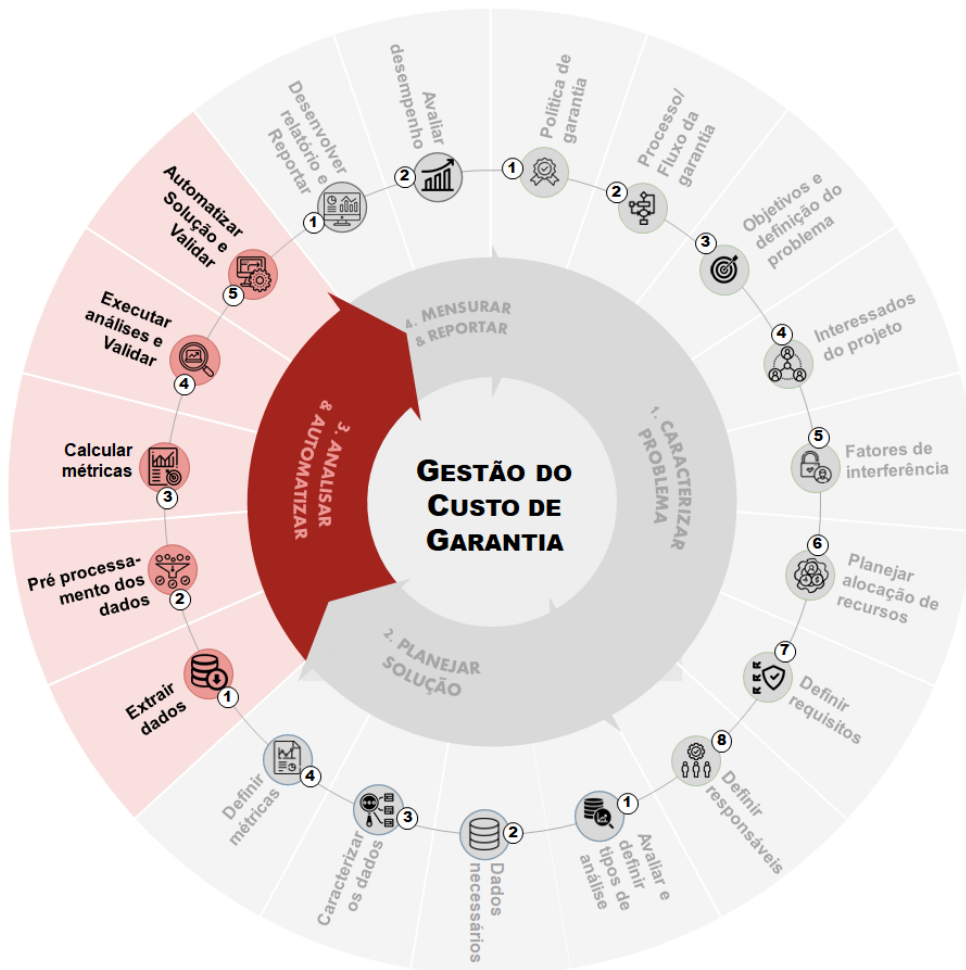
Entretanto, como já abordado, a média e mediana não são métricas representativas para a variável em análise, sendo mais apropriado o método Boxplot, que se utiliza dos quartis para detecção de *outlier* e é adotada em casos de dados assimétricos (ZHAO *et al.*, 2013). Sendo assim, para realizar a análise de concentração de custo de concessionária do método manual, será adotado o uso de quartis, que conforme abordado por Cristo (2021), os quartis Q1, Q2 e Q3 são os percentis 25, 50 e 75, significando que 25% dos dados (Q1), 50% dos dados (Q2) e 75% dos dados (Q3) estão abaixo do determinado valor. Esses valores são utilizados para calcular a amplitude interquartil (IQR), ou distância interquartil, que é dado pela diferença entre o Q3 e Q1. A partir desses valores é possível calcular os valores de *outlier* superior e inferior.

Conforme Lanovaz, Giannakakos e Destras (2020), o uso dessas técnicas pode ser suficiente para desenvolver soluções de métodos menos robustos, como no caso do método manual. Entretanto, para o método de ML, as métricas definidas serão somente dados de entrada (*features*) para o modelo.

Macro Etapa 3: Analisar e Automatizar

Com a definição das métricas, a macro etapa 2 é finalizada, dando início a macro etapa 3, com a aplicação de 5 atividades, conforme Figura 45 e descritas na sequência.

Figura 45 – Procedimentos para Analisar e Automatizar a solução



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.1 Extrair dados

A primeira etapa do desenvolvimento da solução é a extração dos dados. Com os requisitos já mapeados e atendidos e com os fatores de interferência já tratados, essa etapa tem como resultado os dados extraídos e armazenados. Assim, os dados de incidentes foram extraídos para os quatro países LATAM, separadamente. Vale ressaltar que os dados de entrada e as métricas calculadas e utilizadas para o método manual e o método ML são os mesmo, porém, conforme abordado no planejamento da solução (2.1 Avaliar e definir tipos de análise), somente após validado o método manual e gerado três meses de resultados consecutivos que o método de ML será desenvolvido. Logo, serão apresentados os procedimentos de extração e cálculo das métricas para o método manual, que posteriormente serão replicados no método de ML, somente com a alteração do uso de fórmula condicional para o uso de um algoritmo de ML.

Para essa extração, foram definidos os valores dos parâmetros de busca juntamente com o representante do projeto (PO), conforme Quadro 21, que demonstra a coleta de dados de incidentes do Brasil, para a análise do mês de agosto de 2023, logo, extraindo dados de incidentes ocorridos de junho a agosto de 2023, totalizando três meses de incidentes, para veículos distribuídos nos últimos três anos, logo, de agosto/2020 a agosto/2023.

Quadro 21 – Parâmetros para coleta de dados para análise do Brasil de agosto de 2023

| Parâmetros | Descrição | Valor |
|-----------------------------|--|---|
| Código do Projeto | Código referente à cada projeto desenvolvido pela organização | Todos |
| Data da ordem de reparo | Data que foi solicitada e ordem de reparo na concessionária, definido como 3 meses | 01/06/2023 à 31/08/2023 |
| Data de Entrega | Data de entrega do veículo ao cliente, definido como 3 anos de análise | 01/08/2020 à 31/08/2023 |
| Status da transação | Filtrar pelo status das solicitações da rede de reembolso | Excluir Cancelados |
| País de entrega | País ao qual o veículo foi entregue | BR - BRAZIL |
| Custo de Garantia | Soma total dos gastos em uma intervenção | Custo de Garantia ≥ 0.01 , para que não seja puxado incidentes sem custo |
| Código de Despesa | Códigos de despesa que entram no custo de garantia | Códigos referentes às despesas descritas na seção 1.7 |
| Tipo de atualização | Tipo de atualização dos dados | Diariamente (<i>Daily</i>) |
| Tipo de dados de incidentes | Tipo de dados de incidente | Dados históricos, ou seja, de transações já efetivadas |
| Detalhes dos campos | São os campos que irão aparecer na agregação das tabelas | Todos |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir dos parâmetros de busca, os dados foram coletados no banco de dados da garantia do Grupo, em formato .x/sx e armazenados em nuvem.

3.2 Pré-processamento dos dados

A prática de pré-processamento dos dados torna-os disponíveis para a análise, bem como torna as análises mais confiáveis e robustas (HAN, 2005; LABRINIDIS; JAGADISH, 2012). Assim, a partir da extração e armazenamento dos dados em .x/sx, estes foram importados para o VSCode, e deu-se início aos procedimentos de pré-processamento, corroborando Chapman *et al.* (2000), Han (2005), Labrinidis e Jagadish (2012) e Schröer, Kruse e Gómez (2021), conforme Figura 46.

Figura 46 – Procedimentos de pré-processamento dos dados

```

1 # Importar dados.
RAW_DATA_PATH = "../data\DRG detail - Incidentes - ALL.PROJECTS_BR Jun~Ago -

# Ler tabela e transformar coluna Repair account number em texto.
df = pd.read_excel(RAW_DATA_PATH,
2                 # header=4,
                 sheet_name="Request#1_Detail",
                 converters={"Número da concessionária": str}
                 )

# Selecionar colunas de interesse.
3 df_temp = df[["Código do Projeto", "Número da Concessionária", "Cidade da Concessionária",
               "Cód Serviço", "Custo de Garantia", "Registro do Veículo"]].copy()

# Verificar se existem linhas vazias e excluí-las
4 df_temp.isna().sum()
df_temp.dropna(inplace=True)

# Agrupar dados definindo a métrica VIN Count (n. incidentes) e
# Custo total
group_df = df_temp.groupby(["Código do Projeto", "Número da Concessionária",
5                          "Cidade da Concessionária", "Cód Serviço",
                          ])

group_df.agg({
    "Registro do Veículo": "count",
    "Custo de Garantia": "sum"
})

group_df = group_df.rename(columns={"Registro do Veículo": "N. de Incidentes"})
display(group_df.head(), group_df.tail())

```

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir da extração e armazenamento dos dados em `.xlsx`, estes foram importados para o VSCode, indicado pelo número 1 na Figura 46. Inicialmente verificou-se se os dados importados estavam completos, comparando os dados importados com um arquivo em planilha eletrônica. Após a confirmação, o primeiro procedimento adotado foi a transformação do código da concessionária em texto (2), ou seja, em *string*, visto que essa variável foi identificada como numérica. Posteriormente (3), foi realizada a seleção das colunas necessárias para o cálculo das métricas, e (4) excluídas as linhas vazias. Essa exclusão foi necessária visto que se identificou que a tabela exportada do banco de dados da garantia apresenta duas linhas finais vazias para a apresentação da etiqueta de confidencialidade dos dados. A partir desses procedimentos, deu-se início ao agrupamento dos dados (5), resultando na coluna com a métrica de número de incidentes e com o Custo total de Garantia. Os resultados obtidos nessa etapa foram, conforme Figura 47.

Figura 47 – Pós agrupamento dos dados

| Código do Projeto | Número da Concessionária | Cidade da Concessionária | Código de Serviço | N. de Incidentes | Custo total de Garantia (€) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| Proj_1 | Cód_dealer | Cidade_1 | Cód_serviço | 5 | 560,56 |
| Proj_2 | Cód_dealer | Cidade_2 | Cód_serviço | 11 | 1800,74 |
| Proj_3 | Cód_dealer | Cidade_2 | Cód_serviço | 3 | 239,34 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A Figura 47 apresenta dados confidenciais, sendo assim, foram utilizados “Proj_n” para representar o modelo do veículo/projeto; “Cód_dealer” para representar o código das concessionárias; “Cidade_n” para representar a cidade da concessionária; e “Cód_serviço” para representar o código do serviço realizado. Além disso, dados de número de incidentes e custo são fictícios, visando preservar a confidencialidade dos dados.

Além desses procedimentos, outra redução inserida no conjunto de dados foi com o intuito de tornar a amostra mais homogênea e representativa para a análise e para a área de negócios. Ao avaliar a distribuição nos quartis dos dados de número de incidentes e custos, verificou-se que 75% dos registros (Quartil 3) apresentam somente 1 incidente e com custos inferiores a 300 euros. Além disso, grande parte dos registros apresentam entre 1 e 2 incidentes, afetando assim a detecção de *outlier*, que retorna detecções com baixo número de incidentes, tornando-se não representativas.

Assim, ao apresentar essa avaliação dos dados à equipe e aos interessados da área de negócios, foi solicitado que houvesse uma exclusão nos registros com incidentes inferiores ou iguais à 2. A partir dessa redução, a distribuição dos dados nos quartis foram alterada, com 75% dos dados (Quartil 3) apresentando 8 incidentes, englobando quase mil euros, reduzindo a variabilidade dos dados em torno da média. Esse tratamento dos dados permite gerar análises mais confiáveis e representativas, conforme discutido por Hotz *et al.* (2001) e Ferreira (2020). Também, vale ressaltar que esse procedimento de pré-processamento dos dados será realizado tanto para o método manual, como para o método de ML.

3.3 Calcular métricas

Com os dados prontos para iniciar o desenvolvimento da solução, inicialmente são calculadas as métricas definidas na etapa 2.4, conforme Figura 48. Essas métricas serão calculadas, inicialmente, no método manual, mas será repetido também nos dados do método de ML.

Figura 48 – Código para o cálculo das métricas

```

1 # Custo/Incidente
def cost_per_incident(x):
    cost = x.iloc[5]
    incident = x.iloc[4]
    return cost/incident
group_df["Cost per incident"] = group_df.apply(cost_per_incident, axis=1)

2 # Concentração do número de incidentes
sum_by_nitg = dict(group_df.groupby(["Cód Serviço", "Código do Projeto"])["N. de Incidentes"].sum())
def incident_concentration(x):
    incident = x.iloc[4]
    Cód_serviço = x.iloc[3]
    Cód_projeto = x.iloc[0]
    return incident/sum_by_nitg[(Cód_serviço, "Código do Projeto")]
group_df["Incident Concentration"] = group_df.apply(incident_concentration,axis=1)

3 # Concentração do C/I
cost_per_inc_sum_by_nitg = dict(group_df.groupby(["Cód Serviço", "Código do Projeto"])["Cost per incident"].sum())
def cost_per_inc_concentration(x):
    cost_per_incident = x.iloc[6]
    Cód_serviço = x.iloc[3]
    Cód_projeto = x.iloc[0]
    return cost_per_incident/cost_per_inc_sum_by_nitg[(Cód_serviço, "Código do Projeto")]
group_df["Cost per Incident Concentration"] = group_df.apply(cost_per_inc_concentration,axis=1)

```

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Conforme observa-se na Figura 48, a primeira métrica calculada foi a Custo por Incidente (C/I) (1), definida anteriormente como a média do custo praticada por uma concessionária específica para realizar um serviço específico. Na sequência foram calculadas as concentrações do número de incidentes (2) e do custo por incidente (3). Essas métricas representam o quanto (%) uma concessionária específica detém dos incidentes ou C/I dos serviços de um determinado serviço.

Após o cálculo das métricas, e visto que a distribuição dos incidentes ocorre de forma não normal, conforme descrito na etapa 2.4, para realizar a detecção de *outliers* foi adotado o uso do método do Boxplot, corroborando Ferreira (2020). Para isso, foram calculados os quartis 1 (Q1) e 3 (Q3), o IQR e o valor de *Outlier* para o número de incidentes, C/I, Concentração de Incidente e Concentração do C/I, para cada modelo específico de veículo, conforme demonstrado na Figura 49.

Figura 49 – Procedimento para cálculo dos quartis 1 e 3, IQR e *Outlier* por Projeto

| Código Projeto | Concessionária (Cód + Cidade) | N. de incidentes (VIN Count) | C/I | Concentração de Incidente | Concentração de C/I | N. Incidentes | C/I | Concentração de Incidente | Concentração de C/I |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|-------|---------------------------|---------------------|--|--|--|--|
| Proj_1 | Cód_dealer 1 | N. Incidentes 1 | C/I 1 | Conc_Incid 1 | Conc_C/I 1 | Proj_1 Q1 incidente Q3 incidente IQR incidente Outlier incidente | Proj_1 Q1 C/I Q3 C/I IQR C/I Outlier C/I | Proj_1 Q1 Concentra de Incidente Q3 Concentra de Incidente IQR Concentra de Incidente Outlier Concentra de Incidente | Proj_1 Q1 Concentra de C/I Q3 Concentra de C/I IQR Concentra de C/I Outlier Concentra de C/I |
| | Cód_dealer 2 | N. Incidentes 2 | C/I 2 | Conc_Incid 2 | Conc_C/I 2 | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |
| | Cód_dealer n | N. Incidentes n | C/I n | Conc_Incid n | Conc_C/I n | | | | |
| Proj_2 | Cód_dealer 1 | N. Incidentes 1 | C/I 1 | Conc_Incid 1 | Conc_C/I 1 | Proj_2 Q1 incidente Q3 incidente IQR incidente Outlier incidente | Proj_2 Q1 C/I Q3 C/I IQR C/I Outlier C/I | Proj_2 Q1 Concentra de Incidente Q3 Concentra de Incidente IQR Concentra de Incidente Outlier Concentra de Incidente | Proj_2 Q1 Concentra de C/I Q3 Concentra de C/I IQR Concentra de C/I Outlier Concentra de C/I |
| | Cód_dealer 2 | N. Incidentes 2 | C/I 2 | Conc_Incid 2 | Conc_C/I 2 | | | | |
| | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |
| | Cód_dealer n | N. Incidentes n | C/I n | Conc_Incid n | Conc_C/I n | | | | |
| Proj_n | ... | ... | ... | ... | ... | Proj_n | Proj_n | Proj_n | Proj_n |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, o cálculo do Q1, Q3, da amplitude interquartil (IQR) e do *Outlier* para o número de incidente, C/I, Concentração de incidente e Concentração de C/I é feito por modelo de veículo/projeto, visto que existem projetos que são vendidos em maior número, esperando-se, assim, que esses tenham maiores incidências em garantia, dessa forma, não seria representativo realizar cálculos de *outlier* sem segmentar por projeto. Assim, para esse procedimento, o código adotado, bem como o resultado obtido foi, conforme Figura 50.

Figura 50 – Cálculo dos quartis 1 e 3, IQR e *Outlier* por Projeto

```

project_metrics_list = []
for project in project_codes:
    projeto_atual = df[df["Código do Projeto"] == project]
    Q1_incident = projeto_atual["N. de Incidentes"].quantile(0.25)
    Q3_incident = projeto_atual["N. de Incidentes"].quantile(0.75)
    IQR_incident = Q3_incident - Q1_incident
    outlier_incident = Q3_incident + 1.5*IQR_incident
    Q1_incident_conc = projeto_atual["Incident Concentration"].quantile(0.25)
    Q3_incident_conc = projeto_atual["Incident Concentration"].quantile(0.75)
    IQR_incident_conc = Q3_incident_conc - Q1_incident_conc
    outlier_incident_conc = Q3_incident_conc + 1.5*IQR_incident_conc
    Q1_costperincid = projeto_atual["Cost per incident"].quantile(0.25)
    Q3_costperincid = projeto_atual["Cost per incident"].quantile(0.75)
    IQR_costperincid = Q3_costperincid - Q1_costperincid
    outlier_costperincid = Q3_costperincid + 1.5*IQR_costperincid
    Q1_costperincid_conc = projeto_atual["Cost per Incident Concentration"].quantile(0.25)
    Q3_costperincid_conc = projeto_atual["Cost per Incident Concentration"].quantile(0.75)
    IQR_costperincid_conc = Q3_costperincid_conc - Q1_costperincid_conc
    outlier_costperincid_conc = Q3_costperincid_conc + 1.5*IQR_costperincid_conc
    
```

| CÓDIGO DO PROJETO | N. Incidentes | | | | Custo/Incidente (C/I) | | | | Concentração de Incidente | | | | Concentração de C/I | | | |
|-------------------|---------------|-----|-----|---------|-----------------------|-------|-------|---------|---------------------------|-----|-----|---------|---------------------|-----|-----|---------|
| | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier |
| Proj_1 | 3,0 | 5,0 | 2,0 | 8,0 | 140,0 | 265,1 | 125,0 | 452,6 | 0,2 | 1,0 | 0,8 | 2,3 | 0,2 | 1,0 | 0,8 | 2,3 |
| Proj_2 | 9,0 | 9,0 | 0,0 | 9,0 | 138,2 | 138,2 | 0,0 | 138,2 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1,0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.4 Executar análises e validar

Após o cálculo das métricas necessárias, bem como dos quartis, IQR e *outlier* por projeto, conforme descrito na Figura 50, a condicional para detecção de

concentração de custo de garantia para o método manual foi definida, conforme regra ilustrada na Figura 51, utilizando valores fictícios para as métricas: número de incidentes, custos, custo/incidente (C/I), concentrações de incidentes e de C/I, e para os quartis, IQR e *outlier*.

Figura 51 – Condicional para detecção de concentração do método manual

| Código do Projeto | Número da Concessionária | Cidade da Concessionária | Código do Serviço | N. Incidentes | Custo total | C/I | Concentração de incidente | Concentração de C/I | N. Incidentes | | | | Custo/Incidente (C/I) | | | | Concentração de Incidente | | | | Concentração de C/I | | | |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------|---------------------------|---------------------|---------------|-----|-----|---------|-----------------------|-----|-----|---------|---------------------------|-----|-----|---------|---------------------|-----|-----|---------|
| | | | | | | | | | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier | Q1 | Q3 | IQR | Outlier |
| Proj_1 | Cód_dealer | Cidade_1 | Cód_serviço | 5 | 560,5 | 112,1 | 0,26 | 0,34 | 3 | 5 | 2 | 8 | 140 | 265 | 125 | 452 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Proj_2 | Cód_dealer | Cidade_2 | Cód_serviço | 11 | 1800,7 | 163,7 | 0,67 | 0,13 | 9 | 9 | 0 | 9 | 138 | 138 | 0 | 138 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

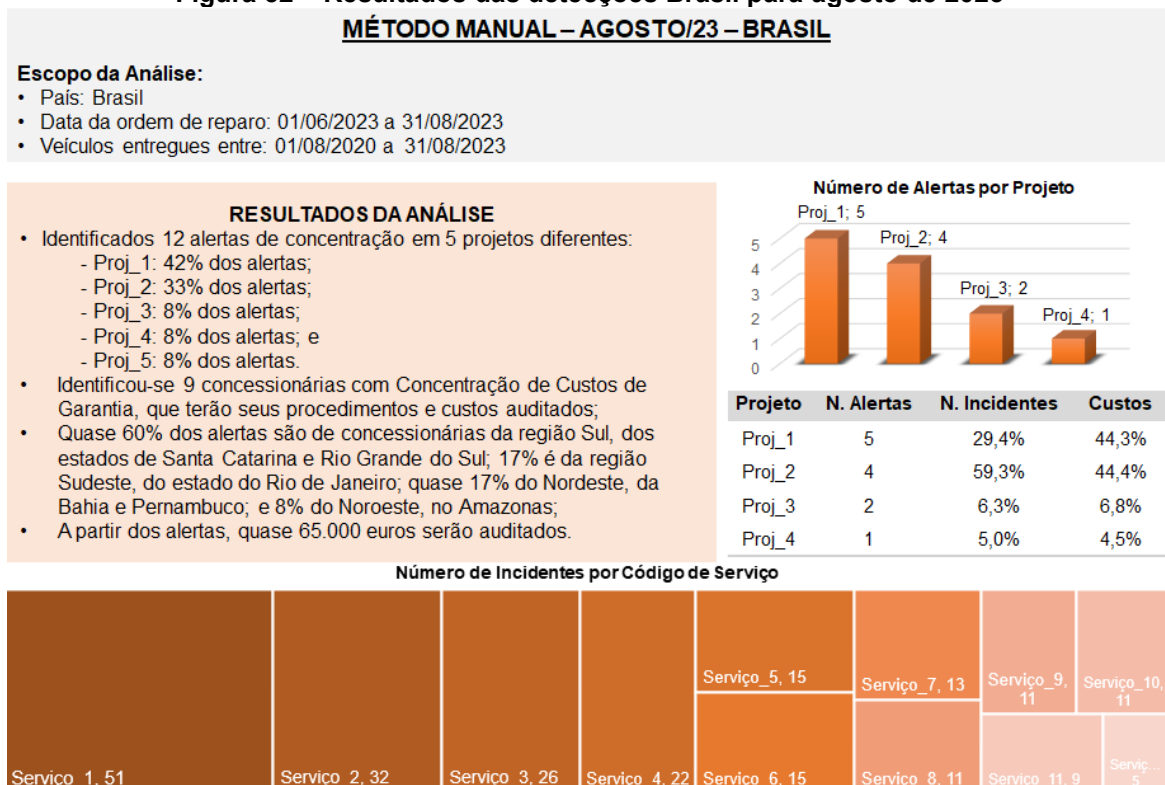
DETECTA CONCENTRAÇÃO DE CUSTO SE:

- N. incidente \geq *Outlier* incidente **E** Concentração de incidente \geq Q3 concentração de incidente **e/ou**
- C/I \geq *Outlier* C/I **E** Concentração de C/I \geq Q3 concentração de C/I **E** N. incidente \geq *Outlier* incidente **e/ou**
- N. incidente \geq *Outlier* incidente **E** Concentração de incidente \geq 50% **e/ou**
- C/I \geq *Outlier* C/I **E** Concentração de C/I \geq 50% **E** N. incidente \geq Q3 incidente **e/ou**

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, a condicional para detecção de concentração de custo de concessionária por meio do método Boxplot foi aplicada, utilizando como exemplo os dados coletados na etapa 3.1, para o mês de agosto de 2023, para projetos do Brasil, obtendo como resultado do método manual as detecções ilustradas na Figura 52.

Figura 52 – Resultados das detecções Brasil para agosto de 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, conforme destacado na Figura 52, 12 alertas foram criados na análise de projetos do Brasil, do mês de agosto/2023, totalizando quase 65 mil euros. O resultado foi apresentado para a equipe, bem como para os interessados, sendo o setor de pós-vendas/comercial e a área específica da qualidade responsável por tratar incidentes, permitindo que estes analisem os alertas gerados, justificando a concentração, ou seja, embora o método tenha classificado como concentração, os altos níveis de incidentes são justificáveis, ou confirmando a concentração, afirmando que existe um problema naqueles dados, permitindo, assim, a adoção de um procedimento de auditoria nas concessionárias. A partir dessa validação do pós-vendas é possível mensurar o desempenho da metodologia nas fases posteriores.

Essa mesma análise do método manual, para o mesmo período, foi realizada para os demais países, Argentina; Colômbia e México, permitindo apresentar a metodologia e os resultados aos responsáveis da garantia de cada país, permitindo que, a partir da informação, os países definam e adotem procedimentos para auditar a rede de concessionárias. Assim, os resultados obtidos a nível LATAM para agosto de 2023 estão descritos na Figura 53.

Figura 53 – Resultados LATAM do método manual para agosto de 2023

| MÉTODO MANUAL – AGOSTO/23 – LATAM | | | | |
|---|--------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Escopo da Análise: | | | | |
| • País: Brasil, Argentina, Colômbia e México | | | | |
| • Data da ordem de reparo: 01/06/2023 a 31/08/2023 | | | | |
| • Veículos entregues entre: 01/08/2020 a 31/08/2023 | | | | |
| MÉTRICAS | BRASIL | ARGENTINA | COLÔMBIA | MÉXICO |
| Número de Alertas | 12 | 5 | 5 | Sem alertas |
| Número de projetos em concentração | 5 | 2 | 2 | - |
| Número de concessionárias em concentração | 9 | 3 | 3 | - |
| Custos englobados em alertas | Quase 65.000 euros | Menos de 1.000 euros | Mais de 6.000 euros | - |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Diante dos resultados, faz-se necessário salientar que o Brasil apresenta o maior volume de vendas da região LATAM, sendo esperado que apresente um número de incidentes e custos superiores aos demais países. Além disso, a partir dos resultados, com a auditoria e adoção de procedimentos para o próximo mês, é possível que as concentrações detectadas como fraude ou atividade maliciosa por parte de concessionárias não voltem a ocorrer, permitindo que a Renault reduza custos em garantia, apoiando a meta de redução dos custos de garantia, motivo da aplicação do modelo de gestão do custo de garantia.

A partir da validação do método manual, gerando resultados por três meses consecutivos para os interessados, e abordado na etapa 2.1 e descrito na Figura 42, deu-se início ao desenvolvimento do método avançado de *Machine Learning* (ML), utilizando o *Isolation Forest* (IF), conforme sugerido por Pina (2019). Para o desenvolvimento da análise, foi necessário o uso do Gitlab, uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento de soluções de *software*, permitindo trabalho colaborativo entre a pesquisadora e o mentor cientista de dados da Renault Brasil. Além disso, o código foi construído na linguagem Python no VSCode, para posterior inserção do projeto no ambiente do *Google Cloud Platform* (GCP).

Para o treinamento do modelo, diferentes amostras de dados foram utilizadas, motivo pelo qual somente se iniciou a construção do método ML a partir de três resultados consecutivos do método manual, possibilitando que os dados das três análises passadas fossem utilizados para treinar o modelo, e permitindo avaliar se o algoritmo está aprendendo de uma amostra para outra. Além disso, vale recordar que o método ML será modelado, inicialmente, para o Brasil, e somente após a avaliação, caso seja superior ao método manual, será adotado nos demais países.

Para isso, utilizou-se como entrada os mesmos dados utilizados no método manual, realizando a mesma seleção de variáveis, os mesmos procedimentos de pré-processamento e o cálculo das mesmas métricas calculadas, sendo o número de incidentes, custos, C/I, concentração de incidentes e concentração de C/I, com o corte de concessionárias com registro igual ou inferior a 2 incidentes.

Como abordado por Vitória (2022), modelos avançados podem demandar procedimentos específicos, como um pré-processamento dos dados categóricos a fim de torná-los disponíveis para uso em um modelo de ML. Dessa forma, além do pré-processamento adotado também no método manual, no método de ML foi necessário acrescentar alguns procedimentos. Assim, as amostras de dados foram segmentadas em categóricos e numéricos, conforme Quadro 22.

Quadro 22 – Dados categóricos e numéricos

| Dados categóricos | Dados numéricos |
|----------------------------|-----------------------------|
| — Código do projeto | — Número de incidentes |
| — Código da concessionária | — Custo total de garantia |
| — Cidade da concessionária | — Custo por incidente (C/I) |
| — Código do serviço/peça | — Concentração de incidente |
| | — Concentração de C/I |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir da segmentação, as amostras de dados categóricos foram tratadas a fim de compor o modelo em formato numérico. Para isso, adotou-se o método OneHotEncoder, que transforma dados categóricos a fim de inseri-los no modelo ML. A partir disso, os dados são concatenados novamente, unindo as colunas numéricas e categóricas transformadas em um conjunto de dados.

A partir disso, o conjunto foi segmentado em dois subconjuntos, um de treino e um de teste, separando 90% do conjunto de dados para treinamento, e 10% para teste. Posteriormente foi feita a normalização dos dados numéricos, por meio do método `fit_transform`, e então construído o algoritmo do *Isolation Forest* (IF).

Foram realizados ajustes dos hiper parâmetros do modelo até atingir um resultado aceitável, avaliado por meio do número de alertas gerados e dos resultados obtidos. Para cada teste realizado, os resultados foram comparados com os resultados do método manual (*baseline*), permitindo avaliar se os hiper parâmetros adotados estavam gerando um resultado efetivo, melhorando ou piorando o modelo de ML.

A partir da definição dos ajustes do modelo, os resultados foram comparados aos resultados do *baseline*, visando aferir o desempenho do método avançado, visto que os resultados do método manual foram validados pela área de negócios. Assim, os alertas do método manual foram classificados em concentrações críticas e normais, permitindo avaliar se os resultados do ML englobam as concentrações críticas, e comparar as novas concentrações do ML com as concentrações normais do método manual. Essa comparação foi realizada com base nos resultados já obtidos com o método manual, com a expertise da equipe de trabalho e dos interessados. A comparação dos resultados dos dois métodos para o mês de agosto de 2023, para o Brasil, foi, conforme Figura 54.

Figura 54 – Comparação dos resultados dos métodos manual e ML

| COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS PARA DADOS DE AGOSTO DE 23 – BRASIL | |
|---|---|
| Escopo da Análise: | |
| <ul style="list-style-type: none"> • País: Brasil • Data da ordem de reparo: 01/06/2023 a 31/08/2023 • Veículos entregues entre: 01/08/2020 a 31/08/2023 | |
| MÉTODO MANUAL: | MÉTODO DE ML: |
| <ul style="list-style-type: none"> • N. de alertas: 12; <ul style="list-style-type: none"> - 4 Críticas; - 8 Normais. • N. de projetos em concentração: 5 • Número de concessionárias em concentração: 9 • Custos englobados: Menos de 65.000 euros. | <ul style="list-style-type: none"> • N. de alertas: 13; <ul style="list-style-type: none"> ✓ Englobou as 4 Críticas do Manual; ✓ Englobou 3 Normais do Manual; + Criou 6 Novas detecções. • N. de projetos em concentração: 5 • Número de concessionárias em concentração: 9 • Custos englobados: Mais de 70.000 euros. |
| CONCENTRAÇÕES NORMAIS | NOVAS CONCENTRAÇÕES |
| <ul style="list-style-type: none"> • Das 8 concentrações Normais do Manual, 5 alertas Normais não foram identificados pelo método ML: • 5 alertas normais, englobando 11.000 euros: <ul style="list-style-type: none"> • 2 alertas apresentam n. incidentes < 10; • 1 alerta apresenta concentração de incidente e de C/I < 10%. | <ul style="list-style-type: none"> • 6 novos alertas, englobando quase 20.000 euros; • Todos novos alertas apresentam n. incidentes >= 10 • Todos novos alertas apresentam concentração de incidente >= 10%; • 4 novas concessionárias para análise, em somente 2 projetos. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Conforme observa-se na Figura 54, o método de ML apresentou um alerta a mais que o método manual, englobou os quatro alertas críticos do manual, três dos alertas normais, e seis novos alertas. Para avaliar a superioridade de um dos métodos, foram comparados os alertas exclusivos de cada método, ou seja, identificados em um e não identificados no outro, sendo cinco alertas do método manual e seis alertas do método de ML. Esses alertas foram avaliados pelos membros da equipe, pelo representante do projeto (PO), e pelos interessados da área de negócios, especificamente para o pós-vendas, a fim de avaliar qual método apresenta resultados superiores. A partir dessa avaliação, concluiu-se que o método de ML apresenta resultados superiores ao método manual, para os dados e contexto de garantia da Renault, definido, assim, seu uso.

Ressalta-se que o método escolhido foi em função das características da Gestão de Dados e Garantia da Renault. Para replicação da solução em outros contextos, orienta-se que se execute os dois métodos, julgando qual o mais cabível e adequado para o contexto, realizando as adaptações e ajustes que julgar necessário.

Diante da decisão do método mais cabível para a solução, o método de ML foi replicado para os demais países LATAM (Argentina, Colômbia e México), seguindo os procedimentos abordados na Figura 42, gerando os alertas desses países. De posse dos resultados, estes foram utilizados para apresentar o método aos respectivos responsáveis da garantia de cada país, permitindo também definir o procedimento para envio dos resultados dos próximos meses.

3.5 Automatizar/Industrializar a solução e Validar

Conforme descrito no método CRISP DM, a última fase de projetos de ciência de dados é a implementação do resultado, podendo ser realizada por meio de relatórios, ou até mesmo por meio da automação do resultado, sendo o *deployment automation*, dependendo do requisito da organização (CHAPMAN *et al.*, 2000; SCHRÖER; KRUSE; GÓMEZ, 2021). Conforme listado nos requisitos da organização, na Figura 38, a análise deverá ser o mais automatizada possível, no ambiente do GCP. Assim, diante dos resultados dos métodos manual e de ML, e seleção dos resultados do método de ML como mais adequados, deu-se início ao procedimento de automatização da análise, como descrito por Sharda, Delen e Turban (2019).

Para isso, a equipe de dados da Renault deu início ao procedimento de tornar os dados necessários disponíveis no ambiente da Qualidade no *Google Cloud Platform* (GCP), local aos qual os dados serão consumidos para gerar as detecções mensalmente.

Posteriormente, deu-se início a consolidação dos diferentes *notebooks* desenvolvidos no ambiente VSCode, sendo cada *notebook* uma página de código em Python, para um *notebook* integrado, composto por todas as etapas da análise. A partir disso, esse *notebook* composto pelo método de ML foi inserido no ambiente da Qualidade do GCP.

Com os dados e o método disponíveis no ambiente do GCP, e com a configuração dos parâmetros para que o modelo seja gerado a cada 21º dia de cada mês, gerando resultados mensalmente e por país, cumpre-se com o requisito da solução automatizada.

Macro Etapa 4. Mensurar e Reportar

Ao finalizar a atividade 3.5, a última macro etapa do modelo de gestão do custo de garantia se inicia, composta pelas atividades descritas na Figura 55.

Figura 55 – Procedimentos para Mensurar os ganhos e Reportar os resultados



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

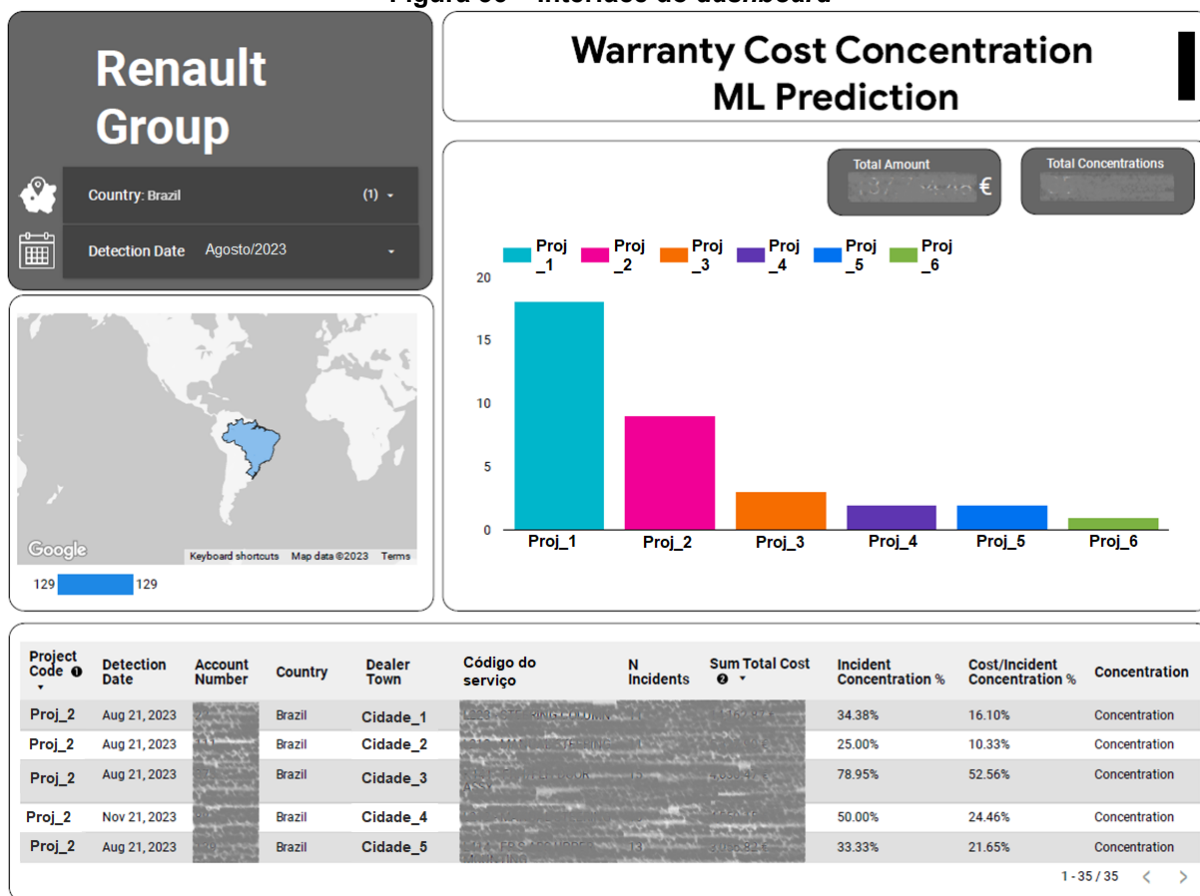
4.1 Desenvolver relatório e Reportar

Como abordado por Chapman *et al.* (2000), o tipo de resultado de uma análise depende do requisito da organização, podendo ir do mais simples ao mais complexo. Conforme Sharda, Delen e Turban (2019), a infraestrutura de um *Data Warehouse* (DW), como o *Google BigQuery*, presente no GCP, permite desenvolver relatórios, análises, alertas, e uso dos resultados para desenvolver *dashboards*, por exemplo. Assim, inicialmente verifica-se os requisitos da organização a fim de identificar a forma de apresentar os resultados.

De acordo com a Figura 38, existem alguns critérios de aceitação para a solução, como ser o mais automatizada possível, atendido na etapa anterior; ter um relatório da solução visual, com gráficos que facilitem a compreensão dos resultados; e compartilhar esse relatório a partir do 21º dia de cada mês. Diante desses critérios de aceitação, foi elaborado um *dashboard* para inserir os alertas dos quatro países,

que será atualizado mensalmente. A interface do *dashboard* foi apresentada na Figura 56.

Figura 56 – Interface do *dashboard*



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Para o uso do *dashboard*, foi realizado um treinamento com os responsáveis da garantia dos quatro países e disponibilizado o *link* de acesso. Além disso, foi definido o procedimento de *feedback* com a equipe do projeto e do pós-vendas, devendo ser realizada uma reunião mensal na qual o pós-vendas irá apresentar a análise de cada alerta, classificando em:

- Concentração justificável: existe uma justificativa para que determinada concessionária tenha essa concentração de incidentes, como exemplo a maresia, as condições das vias da cidade, as condições climáticas, dentre outros aspectos; ou
- Concentração confirmada: a concessionária apresenta registros de incidentes discrepantes, dando indícios de procedimentos incorretos ou má fé.

Essa análise realizada dos alertas, permite que se crie procedimentos de auditoria da rede de concessionárias, avaliando seu desempenho, tema abordado por Hotz *et al.* (2001), visto que, conforme evidenciado por McNeil e Miller (1980), faz-se

necessário acompanhar o serviço das concessionárias, permitindo identificar aspectos que impactem na satisfação do consumidor e melhorá-los.

4.2 Avaliar Desempenho

A partir dos procedimentos de *feedback* estabelecidos, foram definidos os indicadores que permitirão acompanhar o desempenho da solução. Esses indicadores serão mensurados mensalmente, a partir do envio dos alertas ao pós-vendas, conforme Quadro 23.

Quadro 23 – Indicadores de desempenho da solução

| Indicador | Descrição |
|---------------------------|--|
| Assertividade dos alertas | Número de alertas enviados ao pós-vendas confirmados como concentração de custo de garantia. Cálculo: $\frac{\text{Número de alertas confirmados}}{\text{Número de alertas enviados}}$ |
| Custos auditados | Valor em euros auditados por meio dos alertas confirmados Cálculo: $\sum \text{Custos dos alertas confirmados}$ |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, como exemplo, em relação aos alertas identificados no período agosto de 2023, para o Brasil, foi realizada a análise das detecções no setor de pós-vendas e os indicadores foram calculados, conforme Quadro 24.

Quadro 24 – Indicadores de desempenho da solução para agosto/2023 - Brasil

| Indicador | Desempenho agosto/2023 - Brasil |
|---------------------------|---------------------------------|
| Assertividade dos alertas | 83% de assertividade |
| Custos auditados | € 60.000 |

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir das métricas de desempenho é possível acompanhar a efetividade da solução proposta, demonstrando o benefício que a solução gera, mas também, sendo um indicador útil para alertar sobre a necessidade de revisão da solução. Assim, foi estabelecido que além de acompanhar os indicadores de desempenho, o modelo de ML deve ser revisado a cada três meses, monitorando o número de falsos positivos, ou seja, alertas considerados pelo modelo como concentração, mas que a partir da avaliação do pós-vendas foram classificados como alertas falsos, ou justificáveis.

Por fim, as métricas de desempenho do modelo ficarão disponíveis aos interessados, como forma de validar a importância do modelo, bem como incentivando o uso das informações geradas por ele.

Assim, finaliza-se a aplicação do modelo de gestão do custo de garantia (WMM 4.0), que a partir da adoção de quatro macro etapas e 19 atividades, propôs uma solução a um problema da planta da multinacional francesa estabelecida no Brasil.

6 CONCLUSÕES

Ao longo dos anos, a prática da qualidade passou por evoluções significativas, passando da gestão por meio da inspeção total, aplicação de estatísticas e técnicas de amostragem, garantia da qualidade, gestão da qualidade total, até atingir a Qualidade 4.0, que fornece novos conceitos, modelos, ferramentas e técnicas de gestão, baseando-se no setor 4.0 e suas tecnologias, na análise de big data, em monitoramento contínuo e em tempo real, na adoção de técnicas de análise de dados avançadas, como por meio de modelos de predição, adotando *Machine Learning* (ML) (ANTONY *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023).

Essa evolução das eras da qualidade foi motivada por diversos fatores, como mudanças no setor produtivo e nas formas de produção, das estratégias organizacionais, do mercado consumidor, da globalização, das tecnologias, da prestação de serviços, da oferta e demanda, dentre outros (SADER *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2022; MAGANGA; TAIFA, 2023), alterando não somente a forma de gestão, mas também a importância dada à qualidade e às necessidades e satisfação do mercado consumidor, inserindo esses fatores no centro dos processos decisórios (WANG; XIE, 2017). Para isso, destaca-se a relevância de procedimentos e serviços que visem atender às expectativas do consumidor, abrangendo não apenas a qualidade do produto, mas também a excelência no atendimento pós-venda (HANSEN; MOWEN; HEITGER, 2022; PRASHAR, 2023). Nesse contexto, a disponibilização de garantias emerge como o elemento mais significativo desse serviço (WANG; XIE, 2017).

Nesse contexto, a oferta de garantia vem sendo amplamente adotada, sendo um acordo contratual entre fabricante e consumidor, estabelecendo como o produto deve funcionar em condições pré-estabelecidas, atribuindo as responsabilidades em caso de falha dentro de um prazo estipulado, reparando; substituindo ou trocando peças quando necessário (BLISCHKE; MURTHY, 1996; KARIM; SUZUKI, 2005; WANG; XIE, 2017; MITRA, 2019). A oferta de garantia, além de resguardar os direitos dos fabricantes e consumidores, é uma estratégia adotada com outros objetivos, como indicar indiretamente a qualidade do produto (BLISCHKE; MURTHY, 1996), visto que, na ótica do consumidor, torna-se uma informação acerca da confiabilidade e durabilidade do produto; como estratégia de *marketing* para majorar vendas (KARIM;

SUZUKI, 2005), como um meio de influenciar na escolha do produto e como estratégia de fidelizar clientes (WU, 2012; MITRA, 2019).

Embora a oferta de garantia gere inúmeros benefícios, também representa desafios, gerando um risco adicional para a organização quando mal gerenciada (HADEL; LAKEY, 1993), como o aumento de custos adicionais para o fabricante, mas também para os consumidores (ISSACSON *et al.* 1991; MURTHY *et al.*, 2002; WU; XIE, 2008); a dificuldade em definir a política mais cabível, devido a diversidade de políticas existentes; a análise dos dados gerados, devido ao volume de dados gerados em tempo real e por diversas fontes; outros fatores que impactam na política de garantia, como as condições das vias e modo de manuseio do produto; a garantia do nível de serviço por parte das concessionárias, dentre outros (LAWLESS, 1998; HOTZ *et al.*, 1999; BUDDHAKULSOMSIRI *et al.*, 2006). Assim, faz-se necessário que haja um bom planejamento, controle e gestão de sua aplicação e de seus custos (MURTHY, 2006; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012).

Desse modo, a gestão eficaz dessa estratégia é um modo de reduzir ou eliminar esses impactos negativos da oferta de garantia. Entretanto, a garantia apresenta diversas particularidades, dificultando sua gestão. Nesse contexto, o uso de um modelo de gestão, com procedimentos definidos, para balizar, gerenciar e desenvolver soluções, é essencial (MURTHY; BLISCHKE, 2008; WU; XIE, 2008; DÍAZ *et al.*, 2009; GONZÁLEZ-PRIDA; CRESPO MÁRQUEZ, 2012), como já abordado na prática de gestão de projetos (CARPINETTI, 2012). Diante dessa necessidade, surgiu o propósito desta pesquisa, que consistiu em elaborar um modelo de gestão do custo de garantia, possibilitando que as organizações desenvolvam soluções com base em um procedimento detalhado.

O modelo, conforme ilustrado na Figura 28 descrito na seção 5, foi composto por quatro macro etapas: (1) Caracterizar Problema; (2) Planejar Solução; (3) Analisar e Automatizar; e (4) Mensurar e Reportar. Estas, são compostas por 19 atividades, distribuídas entre as quatro macro etapas. A construção do modelo foi baseada em diferentes pilares, sendo: conceitos da Qualidade 4.0, como a automatização e monitoramento da qualidade em tempo real (JACOB, 2017; SADER *et al.*, 2019; SAIHI *et al.*, 2023; MAGANGA; TAIFA, 2023; ANTONY *et al.*, 2023); análise de dados e tomada de decisão baseada em dados, abordando o uso de análises avançadas como de predição e automação da solução e pré-processamento de dados (SHARDA; DELEN; TURBAN, 2019; FERREIRA, 2020; BRIETZIG, 2022; HANSEN; MOWEN;

HEITGER, 2022); modelos de gestão da qualidade e de melhoria contínua, como PDCA, MASP e DMAIC, e ferramentas da qualidade tradicional e da qualidade 4.0 (SLACK *et al.*, 2006; CARPINETTI, 2012; CORRÊA, 2019; EFQM, 2020; SADER *et al.*, 2021); e, por fim, no modelo de gestão de projetos PMBOK® (PMI, 2017).

A partir da construção do modelo, denominado de *Warranty Management Model* 4.0 (WMM 4.0), o mesmo foi aplicado em um estudo de caso na multinacional francesa Renault, na planta situada no estado do Paraná, em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, porém, gerando soluções para quatro países LATAM, Argentina, Brasil, Colômbia e México. Diante disso, foi possível descrever os resultados obtidos, demonstrando que os objetivos da presente pesquisa, específicos e geral, foram atingidos, conforme Quadro 25.

Quadro 25 – Resultados atingidos

| Objetivos | Procedimento adotado e Resultados obtidos |
|--|---|
| Objetivo Específico 1 (OE 1): Comparar modelos, ferramentas e análises propostas na literatura para a gestão dos custos e dados de garantia na indústria automobilística; | Foi realizado o referencial teórico e a revisão sistemática de literatura dos principais temas relacionados com a presente pesquisa, sendo qualidade, suas ferramentas e a sua evolução para a qualidade 4.0; oferta de garantia; análise de dados na gestão da garantia; garantia na indústria automobilística e modelos de gestão de garantia nesse setor. Além da compreensão dos temas, essa etapa permitiu visualizar a aplicação das temáticas na gestão da garantia e identificar desafios e oportunidades de cada tema. |
| Objetivo Específico 2 (OE 2): Determinar as variáveis que influenciam na gestão da garantia da indústria automobilística, bem como na análise de dados da garantia, por meio de uma revisão de literatura; | Diante do procedimento anterior, foram mapeados os principais fatores que influenciam a temática, como as políticas, os procedimentos, os sistemas adotados, os tipos de análise de dados cabíveis, as ferramentas da qualidade úteis, dentre outros fatores, juntamente com seus benefícios e desafios, contribuindo para a compreensão dos temas e possibilitando desenvolver um modelo para a gestão do custo de garantia; |
| Objetivo Específico 3 (OE 3): Aplicar o modelo de gestão do custo de garantia, proposto na presente pesquisa, em uma indústria automobilística, para gerar soluções no âmbito da gestão da garantia | A partir dos conhecimentos mapeados, o modelo foi desenvolvido em quatro macro etapas e 19 atividades, que foram descritas de forma detalhada, permitindo sua aplicação na indústria selecionada para o estudo de caso. A aplicação do modelo resultou na resolução de um problema de gestão de garantia da indústria, a detectando concentração de custo de garantia em concessionárias; e |
| Objetivo Específico 4 (OE 4): Avaliar os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo proposto. | A partir da aplicação do WMM 4.0 na Renault Brasil, foi possível resolver um problema de gestão de custo de garantia, impactando positivamente em seus custos, conforme demonstrado pelos indicadores adotados na atividade 4.2. |

| | |
|---|---|
| <p>Objetivo Geral: Desenvolver e aplicar um modelo de gestão do custo de garantia para a indústria automobilística, baseado em análise de dados, Qualidade 4.0 e melhoria contínua.</p> | <p>Assim, atingiu-se o objetivo geral da pesquisa, a partir do desenvolvimento e aplicação do modelo em uma indústria, em um estudo de caso, propondo a resolução de um problema de gestão do custo de garantia dessa indústria. A aplicação do modelo resultou na definição de um método para detectar concentração de custo de garantia em concessionárias, contribuindo para alcançar uma das metas globais da organização, que consiste na redução dos custos de garantia, bem como contribuindo com a meta de desenvolver soluções com inteligência e automatizadas.</p> |
|---|---|

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, respondendo à pergunta de pesquisa (*Como gerar solução para a gestão do custo de garantia na indústria automobilística, por meio da análise de dados da garantia?*), conclui-se que com a aplicação do WMM 4.0, desenvolvido com base em pilares como Qualidade 4.0, automatização, análise de dados, melhoria contínua, dentre outros, foi possível desenvolver uma solução para o problema de concentração de custos de concessionárias. A partir dos procedimentos do modelo, foram desenvolvidas soluções por dois métodos distintos, um menos robusto, adotando técnicas estatísticas e Boxplot, denominado de método manual, e outro por meio de análise avançada de predição, desenvolvendo um modelo de *Machine Learning* (ML) para identificar *outliers* nos custos de garantia, denominado de Método ML. A partir da comparação dos resultados dos dois métodos, concluiu-se que o método de ML apresenta resultados superiores ao do método manual, adotando-o como solução para os quatro países LATAM.

Vale ressaltar que o método ML foi considerado superior no contexto da Renault em função da Gestão de Dados praticada pela empresa, ou seja, o algoritmo foi construído e treinado para os dados da Renault. Em casos de replicação da solução em outros contextos, é necessário realizar a aplicação dos dois métodos para avaliar a superioridade de um ou outro, realizando as devidas adaptações e ajustes necessários.

De posse da seleção do método mais eficaz e de seus resultados para os quatro países LATAM, a solução foi automatizada, inserindo o modelo e os dados no *Google Cloud Platform* (GCP), conforme procedimento mencionado por Sharda, Delen e Turban (2019). Assim, mensalmente alertas são enviados aos interessados da informação, sendo principalmente a equipe de qualidade e pós-vendas, permitindo que, a partir da confirmação da concentração fraudulenta, fosse desenvolvido e adotado procedimentos de auditoria da rede de concessionárias.

Conforme discutido, o nível de serviço das concessionárias afetam a satisfação do consumidor, e, conseqüentemente na intenção de recomendação e na reputação da marca, evidenciando a necessidade de gerenciar esse serviço. Nesse contexto, analisar os dados de garantia gerados pelas concessionárias permite tomada de decisão antecipada, identificação de possíveis problemas, bem como, permite identificar ações fraudulentas por parte dessas prestadoras de serviço, conforme já estudo por Hotz *et al.* (2001). Além disso, a solução proposta se mostra efetiva no atendimento da meta organizacional de reduzir custos de garantia.

Assim, suprimindo a fragilidade identificada na literatura, que não apresenta um modelo de gestão do custo de garantia com procedimentos detalhados para a análise de dados, verificado na revisão sistemática de literatura, o presente estudo propôs um modelo de gestão do custo de garantia, denominado de WMM 4.0. O modelo é composto por macro etapas e atividades, abrangendo e antecipando os principais desafios relacionados a gestão de projetos, oferta de garantia e gestão de dados, englobando conceitos da Qualidade 4.0, soluções automatizadas, melhoria contínua e tomada de decisão baseada em dados.

O modelo desenvolvido na presente pesquisa foi baseado na literatura, utilizando principalmente artigos e revisões. Entretanto, o tópico custo de garantia é pouco explorado na literatura, como pode ser visto no portfólio de artigos construídos na seção 2.2.1, referente a Revisão Sistemática de Literatura. Essa carência de estudos publicados tem como um dos motivos a confidencialidade dos dados de custos de garantia, visto que os resultados de garantia de uma organização podem impactar na escolha do consumidor, na imagem da organização, tornando-se uma fragilidade, além de que esses dados podem apresentar informações sobre o proprietário e do veículo. Por esse motivo, a fim de seguir a lei de proteção dos dados da organização, a aplicação do modelo de custo de garantia apresentou informações fictícias, e outras foram suprimidas.

Além das questões de carência da literatura, e da questão dos dados sensíveis, outras limitações para a aplicação do modelo foram mencionadas no início e ao longo do trabalho, como a aplicação em somente uma indústria de um segmento, devido à disponibilidade da pesquisadora, mas também devido ao tempo necessário para a aplicação do modelo em uma indústria, necessitando que a mesma disponha de pessoas, tempo e outros recursos para essa aplicação.

Embora o modelo tenha sido desenvolvido para a indústria automobilística, abrangendo alguns aspectos específicos de políticas para esse setor, o mesmo pode ser adotado a qualquer segmento. Para isso, é necessário que sejam feitas adaptações e modificações de acordo com o setor interessado, considerando também as características dos dados. Assim, como sugestão de trabalhos futuros sugere-se a aplicação do modelo a outros segmentos, descrevendo as políticas possíveis aplicáveis e validando a efetividade da aplicação do modelo no segmento.

Além disso, verificou-se a efetividade do modelo para solucionar o problema de detecção de concentração de custos de garantia em concessionárias, porém, sugere-se a aplicação do modelo a outros problemas de gestão de garantia, permitindo construir um repositório de soluções as quais o modelo pode ser aplicado, facilitando, assim, a aplicação do modelo para outros problemas e por outras organizações.

REFERÊNCIAS

- ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **A Profissão**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2020. Disponível em: <http://portalabepro.educacao.ws/a-profissao/#1521896790619c29714ce-c6b0>. Acesso: 16 dez. 2022.
- ALSADA, R. Y.; KUMAR, Y. A measurement of quality costs in industrial organizations. **Cogent Business & Management**, v.9, n.1, 2022. <https://doi.org/10.1080/23311975.2022.2128253>
- AMBAD, P. M.; KULKARNI, M. S. A methodology for design for warranty with focus on reliability and warranty policies. **Journal of Advances in Management Research**, v.10, n.1, p.139–155, 2013. <https://doi.org/10.1108/09727981311327811>
- AMBAD, P. M.; KULKARNI, M. S. An attractiveness index based approach for warranty optimization. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.32, n.4, p.415–431, 2015. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0177>
- AMBAD, P. M.; KULKARNI, M. S. A goal programming approach for multi-objective warranty optimization. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v.8, n.4, p.842–861, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13198-017-0674-9>
- ANTONY, J.; MCDERMOTT, O.; SONY, M.; TONER, A.; BHAT, S.; CUDNEY, E. A.; DOULATABADI, M. Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0 – A qualitative global study. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.34, n.7-8, p.827-846, 2022. DOI: 10.1080/14783363.2022.2113737
- ANTONY, J.; SONY, M.; MCDERMOTT, O.; JAYARAMAN, R.; FLYNN, D. An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.40, n.2, p.582-606, 2023. 10.1108/IJQRM-10-2021-0357
- ANUNCIAÇÃO, L. **Conceitos e análises estatísticas: com R e JASP**. 1. ed. Rio de Janeiro: NILAPRESS, 2021.
- BAYER, F. M.; ECKHARDT, M.; MACHADO, R. **Automação de sistemas**. 4. ed. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.
- BLISCHKE, W.R.; MURTHY, D.N.P. Product warranty management – I: a taxonomy for warranty policies. **European Journal of Operational Research**, v.62, p.127–148, 1992.
- BLISCHKE, W.R.; MURTHY, D.N.P. **Product warranty handbook**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.
- BLUMENSTOCK, A.; SCHWEIGGERT, F.; MÜLLER, M.; LANQUILLON, C. Rule cubes for causal investigations. **Knowledge and Information Systems**, v.18, n.1, p.109–132, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10115-008-0141-7>

BOUGUERRA, S.; CHELBI, A.; REZG, N. A decision model for adopting an extended warranty under different maintenance policies. **International Journal of Production Economics**, v.135, n.2, p.840–849, 2012. doi:10.1016/j.ijpe.2011.10.022

BRIETZIG, N. G. Análise de dados como ferramenta de tomada de decisão para micro e pequenas empresas. *In: Unidade de Aprendizagem Trabalho de conclusão de curso em Economia*. Unisul, 2022.

BUDDHAKULSOMSIRI, J.; SIRADEGHYAN, Y.; ZAKARIAN, A.; LI, X. Association rule-generation algorithm for mining automotive warranty data. **International Journal of Production Research**, v.44, n.14, p.2749–2770, 2006. doi:10.1080/00207540600564633

CARDOSO, M. R. G.; OLIVEIRA, G. S.; GHELLI, K. G. M. Análise de conteúdo: uma metodologia de pesquisa qualitativa. **Cadernos da Fucamp**, v.20, n.43, p.98-111, 2021.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CARVALHO, A.; SAMPAIO, P.; REBENTISCH, E.; OEHMEN, J. Technology and quality management: A review of concepts and opportunities in the digital transformation. **International Conference on Quality Engineering and Management**, p.698-714, 2020.

CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRISP-DM 1.0. Step-by-step data mining guide**. SPSS, 2000.

CHURCHILL Jr, G. A.; PETER, J. P. **Marketing: criando valor para o cliente**. São Paulo: Saraiva, 2000.

CORRÊA, F. R. **Gestão da qualidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2019.

CORSI, A.; SOUZA, F. F.; PAGANI, R. N.; CHIROLI, D. M. G.; KOVALESKI, J. L. Technology transfer oriented to sustainable development: proposal of a theoretical model based on barriers and opportunities. **Scientometrics**, v.126, n.6, p.5081–5112, 2021. doi:10.1007/s11192-021-03969-0

CORSI, A.; BARBOZA, B. M. L.; PAGANI, R. N.; CHIROLI, D. M. DE G.; KOVALESKI, J. L. Technology transfer oriented to sustainable development: barriers and opportunities. **Journal of Information & Knowledge Management**, v.20, n.2, p.1-46, 2021.

CRISTO, S. L. P. **Análise da detecção e da influência de outliers na avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos**. 2021. 83 f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2021.

CROSBY, P. B. **Quality without tears: the art of hassle-free management**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1984.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento**. 7. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1999.

DAI, A.; HE, Z.; LIU, Z.; YANG, D.; HE, S. Field reliability modeling based on two-dimensional warranty data with censoring times. **Quality Engineering**, v.29, n.3, p.468–483, 2017. <https://doi.org/10.1080/08982112.2017.1319955>

DAI, A.; ZHANG, Z.; HOU, P.; YUE, J.; HE, S.; HE, Z. Warranty claims forecasting for new products sold with a two-dimensional warranty. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v.28, n.6, p.715–730, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11518-019-5434-8>

DE, S.; DAS, A.; SUREKA, A. Product failure root cause analysis during warranty analysis for integrated product design and quality improvement for early results in downturn economy. **International Journal of Product Development**, v.12, n.3–4, p.235–253, 2010. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2010.036389>

DÍAZ, V. G.; GÓMEZ, J. F.; LÓPEZ, M.; CRESPO, A.; DE LEÓN, P. M. Warranty cost models state-of-art: a practical review to the framework of warranty cost management. **ESREL**, p.2051-2059, 2009.

DIMITROV, B.; CHUKOVA, S.; KHALIL, Z. Warranty costs: An age-dependent failure/repair model. **Naval Research Logistics**, v.51, n.7, p.959–976, 2004. doi:10.1002/nav.20037

EFQM - The EFQM Model, 2020. Disponível em: <https://www.efqm.org/index.php/efqm-model/download-your-free-short-copy-of-the-efqm-model/>

EVANS, J. R.; LINDNER, C. H. **Business Analytics: the next frontier for decision sciences**. College of Business, University of Cincinnati. Decision Science Institute, 2012.

FERREIRA, A. R. S. The importance of descriptive analysis. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v.47, 2020. DOI: 10.1590/0100-6991e-20202682

FONSECA, L. The EFQM 2020 model. A theoretical and critical review. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.33, n.9-10, p.1011-1038, 2021. DOI: 10.1080/14783363.2021.1915121

FULI, Z.; XU, W.; SHAN, C.; LIN, N. COQ math model case study for self-brand automobile industry. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**, Singapore, p.1392-1396, 2015. Doi: 10.1109/IEEM.2015.7385876.

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International Journal of Information Management**, v.35, p.137-144, 2015

GARVIN, D. A. **Managing quality the strategic and competitive edge**. New York: The Free Press, 1988.

GIANG, N. P.; PHUONG, N. T. L. Using quality costs for quality management in manufacturing enterprises. **Central European Management Journal**, v.30, n.3, p.1148-1164, 2022.

GIDEL T., ZONGHERO W. **Management de projet**, vol.1, Introduction et fondamentaux. 2.ed., Paris, Hermès Science/Lavoisier, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓMEZ, J.; CRESPO, A.; MOREU, P.; PARRA, C.; GONZÁLEZ DÍAZ, V. **Safety, reliability and risk analysis: theory, methods and applications: outsourcing maintenance in services providers**. London: Taylor & Francis Group, 829-837, 2009.

GONZÁLEZ-PRIDA, V.; CRESPO MÁRQUEZ, A. A framework for warranty management in industrial assets. **Computers in Industry**, v.63, n.9, p.960–971, 2012. doi:10.1016/j.compind.2012.09.001

GUPTA, S. K.; DE, S.; CHATTERJEE, A. Warranty forecasting from incomplete two-dimensional warranty data. **Reliability Engineering & System Safety**, v.126, p.1–13, 2014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ress.2014.01.006>

HADEL, J. J.; LAKEY, M. J. A structured approach to warranty preparation and risk assessment. *In: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Atlanta, GA, p.298–304, 1993.

HAN, J. **Data mining: concepts and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc.; 2005.

HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M.; HEITGER, D. L. **Cost Management**. 5. ed. USA: Cengage, 2022.

HE, Z.; WANG, D.; HE, S.; ZHANG, Y.; DAI, A. Two-dimensional extended warranty strategy including maintenance level and purchase time: A win-win perspective. **Computers & Industrial Engineering**, v.141, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106294>

HOTZ, E.; GRIMMER, U.; HEUSER, W.; NAKHAEIZADEH, G.; WIECZOREK, M. REVI-MINER, a KDD-environment for deviation detection and analysis of warranty and goodwill cost statements in automotive industry. *In: Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2001. doi:10.1145/502512.502577

HOTZ, E.; NAKHAEIZADEH, G.; PETZSCHE, B.; SPIEGELBERGER, H. WAPS, a data mining support environment for the planning of warranty and goodwill costs in the automobile industry. *In: Proceedings of the Fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1999. doi:10.1145/312129.312307

HUANG, Y. S.; CHEN, E.; HO, J.-W. Two-Dimensional Warranty With Reliability-Based Preventive Maintenance. **IEEE Transactions on Reliability**, v.62, n.4, p.898–907, 2013. doi:10.1109/tr.2013.2285051

ISAACSON, D. N.; REID, S.; BRENNAN, J. R. Warranty cost-risk analysis. **Annual Reliability and Maintainability Symposium**. 1991 Proceedings, p.332-339, 1991. doi:10.1109/arms.1991.154458

JACOB, D. **Quality 4.0 impact and strategy handbook**: getting digitally connected to transform quality management. LNS Research: Cambridge, MA, USA, 2017.

JENAB, K.; POURMOHAMMADI, H.; SARFARAZ, M. An i-AHP&QFD warranty model. **Benchmarking**, v.21, n.6, p.884–902, 2014. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2013-0017>

JURAN, J. M. **Juran's quality control handbook**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

JUŚCIŃSKI, S. the system of tractors operation in the aspect of services provided by an authorised service station. **Technical Gazette**, v.27, n.5, p.1359-1366, 2020.

KALBFLEISCH, J. D.; LAWLESS, J. F.; ROBINSON, J. A. Methods for the analysis and prediction of warranty claims. **Technometrics**, v.33, n.3, p.273, 1991. doi:10.2307/1268780

KARIM, R.; SUZUKI, K. Analysis of warranty claim data: a literature review. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.22, n.7, p.667–686, 2005. doi:10.1108/02656710510610820

KAU, L.; NEL, H. Cost of quality. **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, v.10, n.3, p.28–52, 2019. doi:10.4018/ijsesd.2019070103

KOTLER, P. **Administração de marketing**. 10. ed. São Paulo: Novo Milênio, 2000.

LABRINIDIS, A.; JAGADISH, H.V. Challenges and opportunities with big data. **Proceedings of the VLDB Endowment**, v.5, n.12, p.2032-2033, 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamento da metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LANOVAZ, M. J.; GIANNAKAKOS, A. R.; DESTRAS, O. Machine learning to analyze single-case data: a proof of concept. **Perspectives on Behavior Science**, 2020. doi:10.1007/s40614-020-00244-0.

LAWLESS, J. F. Statistical analysis of product warranty data. **International Statistical Review**, v.66, n.1, p.41, 1998. doi:10.2307/1403656

LEE, S.-H.; LEE, S.-J.; MOON, K.-I. A two-attribute green warranty model for automobile warranty data. **Information-An International Interdisciplinary Journal**, v.15, n.5, SI, p.2055–2065, 2012.

LERNER, E. J. Focus on: transportation - giving vision to vehicles. **Laser Focus World**, v.38, n.8, p.103, 2002.

LIM, J. S. **Quality management in engineering**: a scientific and systematic approach. 1. ed. CRCPress, Broken Sound Parkway NW, Raton, 2019.

- LIU, H. C.; LIU, R.; GU, X.; YANG, M. From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. **Frontiers of Engineering Management**, v.10, p.191–205, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
- LIU, P.; WANG, G.; SU, P. Optimal maintenance strategies for warranty products with limited repair time and limited repair number. **Reliability Engineering and System Safety**, v.210, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107554>
- LO, A.; DIOCHON, P. Unsilencing power dynamics within third spaces. The case of Renault's ab Lab. **Scandinavian Journal of Management**, 2018. doi:10.1016/j.scaman.2018.11.003
- LOBO, R.N. **Gestão da qualidade**. 2. ed. São Paulo: Saraiva Educação S.A., 2019.
- LU, L. Y. Y.; CHIANG, C.-C. Prediction model for warranty costs: a case study of a LCD Monitor Company. *In*: **2008 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference**, 2008. doi:10.1109/apsc.2008.56
- LUO, M.; WU, S. A comprehensive analysis of warranty claims and optimal policies. **European Journal of Operational Research**, v.276, n.1, p.144–159, 2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.034>
- LYONS, K.; MURTHY, D.N.P. Warranty and manufacturing, integrated optimal modelling. *In*: RAHIM, M.A.; BENDAYA, M. (Eds.). **PIQM: production planning, inventory, quality and maintenance**. Kluwer Academic Publishers, New York, 2001, p. 287-322.
- MAJESKE, K. D. A non-homogeneous poisson process predictive model for automobile warranty claims. **Reliability Engineering & System Safety**, v.92, n.2, p.243–251, 2007. doi:10.1016/j.ress.2005.12.004
- MAGANGA, D. P.; TAIFA, I. W. R. Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. **The TQM Journal**, v.35, n.2, p.389-413, 2023. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2021-0328>
- MARQUESONE, R. **Big Data: técnicas e tecnologias para extração de valor dos dados**. Casa do Código, 2016.
- MCNEIL, K.; MILLER, R. E. The profitability of consumer protection: warranty policy in the auto industry. **Administrative Science Quarterly**, v.25, n.3, p.407, 1980. doi:10.2307/2392260
- MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v.16, n.2, p.88–91, 2017.
- MITRA, A. Warranty parameters for extended two-dimensional warranties incorporating consumer preferences. **European Journal of Operational Research**, 2019. doi:10.1016/j.ejor.2019.12.035
- MOSKOWITZ, H.; CHUN, Y. H. A Poisson regression-model for 2-attribute warranty policies. **Naval Research Logistics**, v.41, n.3, p.355–376, 1994.
- MURTHY, D. N. P. Product warranty and reliability. **Annals of Operations Research**, v.143, n.1, p.133–146, 2006. doi:10.1007/s10479-006-7377-y

MURTHY, D. N. P.; BLISCHKE, W. R. Warranty cost analysis. **Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability**, 2008. doi:10.1002/9780470061572.eqr128

MURTHY, D. N.; DJAMALUDIN, I. New product warranty: a literature review. **International Journal of Production Economics**, v.79, n.3, p.231–260, 2002. doi:10.1016/s0925-5273(02)00153-6

OCTOPUS DEPLOY. **The benefits of deployment automation**. Disponível em: <https://octopus.com/> Acesso em: 23 set. 2023.

OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, T. Elementos de estatística descritiva. *In*: **Repositório aberto Universidade aberta**. Lisboa, 2011.

OLIVEIRA, O. J. **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2020.

O'REILLY, T. A. Asset management reduces repair costs and improves warranty tracking in tire manufacturing. **Rubber World**, 2004.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, v.46, n.2, 2017.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v.105, n.40, p.2109-2135, 2015. doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x

PAGANI, R. N.; PEDROSO, B.; SANTOS, C.B. *et al.* Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting Flinder and RankIn. **Qual Quant**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01562-y>

PAGANI, R. N.; PILATTI, L. A. Tecnização e civilização. **Revista Gestão Industrial**, v.2, n.2, p.01-33, 2006. doi.org/10.3895/S1808-04482006000200001

PALADINI, E. P.; BOUER, G.; FERREIRA, J. J. A.; CARVALHO, M. M.; MIGUEL, P. A. C.; SAMOHY, R. W.; ROTONDARO, R. G. **Gestão da qualidade: teorias e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

PANG, H.; SHI, D.; WANG, D.; LIU, J. Automobile reliability evaluation and automobile-enterprise operational decision system based on warranty data. **Journal of Automotive Safety and Energy**, v.13, n.2, p.250–258, 2022. doi.org/10.3969/j.issn.1674-8484.2022.02.004

PINA, M. **Automatic detection of anomalous user access patterns to sensitive data**. Tese (Mestrado em Informática) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2019.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. Guia PMBOK® 6. ed. EUA: Project Management Institute, 2017.

PRASHAR, A. Quality management in industry 4.0 environment: a morphological analysis and research agenda. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.40, n.3, p.863-885, 2023. doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0348

RADZIWILL, N. Let's Get Digital: the many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. **Quality Progress**, p. 24-29, 2018.

RAI, B. K. Strategies for feedback on reliability and robustness from automobile warranty data. **International Journal of Product Development**, v.8, n.3, p.276–290, 2009. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2009.024201>

RAI, B. K. Experimental study of factors influencing maturing data phenomenon in warranty performance indicators. **International Journal of Product Development**, v.12, n.3–4, p.220–234, 2010. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2010.036388>

SADER, S.; HUSTI, I.; DARÓCZI, M. Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. **Periodica Polytechnica Social and Management Sciences**, v.27, n.2, p.131–140, 2019.

SADER, S.; HUSTI, I.; DAROCZI, M. A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.32, n.9-10, p.1164-1182, 2021.

SAIDIN, Z. H.; RAHMAN, W. A. W. A.; KELANA, B. W. Y.; HAMID, R. A. Does relationship quality affect customer loyalty of malaysian national carmakers: alternative attractiveness as moderator. **International Journal of Supply Chain Management**, v.7, n.3, p.160-173, 2018.

SAIHI, A.; AWAD, M.; BEN-DAYA, M. Quality 4.0: leveraging Industry 4.0 technologies to improve quality management practices – a systematic review. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.40, n.2, p.628-650, 2023. doi.org/10.1108/IJQRM-09-2021-0305

SCHRÖER, C.; KRUSE, F.; GÓMEZ, J. M. A Systematic literature review on applying CRISP-DM process model. **Procedia Computer Science**, v.181, p.526–534, 2021.

SHARDA, R.; DELEN, D.; TURBAN, E. **Business intelligence e análise de dados para gestão do negócio**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

SHRIVASTAV, S.K. How The TQM Journal has addressed “quality”: a literature review using bibliometric analysis. **The TQM Journal**, v.35, n.1, 2023. doi.org/10.1108/TQM-10-2022-0308

SILVA, A. L. C. **Introdução à análise de dados**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, F. R.; MACHADO, F. V.; SILVA, I. C. M.; SANTOS, D. M. S.; LAFFITTE, E. A. S. O papel das ferramentas da qualidade na gestão das organizações. *In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGGeT)*, 18. 2021, Resende. **Anais...** Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2021.

SILVESTRE, A. L. **Análise de dados e estatística descritiva**. 1. ed. Portugal: Escolar Editora, 2007.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**. São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUZA, F. F. **Big data analytics como ferramenta de adaptação do total quality management na indústria 4.0, aplicado a uma empresa multinacional do ramo automobilístico**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

SOUZA, F. F.; CORSI, A.; PAGANI, R. N.; BALBINOTTI, G.; KOVALESKI, J. L. Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. **The TQM Journal**, v.34, n.4, p.749-769, 2021. Doi: 10.1108/TQM-10-2020-0238

STATISTA. Global automotive manufacturing industry revenue between 2019 and 2022. **Report**. Jul. 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/574151/global-automotive-industry-revenue/>. Acesso em: 8 dez. 2022.

SUZUKI, K.; KARIM, M. R.; WANG, L. Ch. 21. Statistical analysis of reliability warranty data. **Advances in Reliability**, p.585–609, 2001. doi:10.1016/s0169-7161(01)20023-6

SUZUKI, K.; YAMAMOTO, W.; KARIM, M.R.; WANG, L. **Recent advances in reliability theory**: methodology, practice, and inference: data analysis based on warranty database. Birkhauser: Boston, MA, 2000.

TAMBARE, P.; MESHARAM, C.; LEE, C.-C.; RAMTEKE, R.J.; IMOIZE, A.L. Performance measurement system and quality management in data-driven industry 4.0: a review. **Sensors**, v.22, n.224, 2022. doi.org/10.3390/s22010224

TONG, P.; LIU, Z.-X.; MEN, F.; XU, C.; CAO, L.-S. Two-dimensional extended warranties strategy of automotive product based on usage rate. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v.20, n.5, p.1149–1159, 2014.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normality of variables: diagnosis methods and comparison of some nonparametric tests by simulation. **Revista HCPA**, v.32, n.2, p.227-234, 2012.

TSAI, CW.; LAI, CF.; CHAO, HC.; VASILAKOS, A. V. Big data analytics: a survey. **Journal of Big Data**, v.2, n.21, 2015. doi.org/10.1186/s40537-015-0030-3

VITÓRIA, S. R. P. **Machine Learning e Análise Preditiva em saúde**: um estudo de caso sobre detecção de anomalias em contas médicas do Exército. 2022. 97 f. Dissertação (Mestrado em Governança, Tecnologia e Inovação) - Universidade Católica de Brasília, Brasília.

WANG, C.H.; SHEU, S.H. The effects of the warranty cost on the imperfect EMQ model with general discrete shift distribution. **Production Planning & Control**, v. 12, n.6, p.621–628, 2001. doi:10.1080/09537280010016017

WANG, X.; LI, L.; XIE, M. An unpunctual preventive maintenance policy under two-dimensional warranty. **European Journal of Operational Research**, v.282, n.1, p.304–318, 2020. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.025

WANG, X; XIE, W. Two-dimensional warranty: A literature review. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v.232, n.3, p.284–307, 2018. doi.org/10.1177/1748006X17742776

WARRANTY WEEK. European automaker warranty expenses. **Report**. 7 abr. 2022. Disponível em: <https://www.warrantyweek.com/archive/ww20220407.html>. Acesso: 8 dez. 2022.

WARRANTY WEEK. Worldwide auto warranty expenses. **Report**. 6 out. 2022. Disponível em: <https://www.warrantyweek.com/archive/ww20221006.html>. Acesso: 8 dez. 2022.

WHEATLEY, M. Scorecards, dashboards are two different things. **Manufacturing Business Technology**, v.22, n.9, p.32 – 34, 2004.

WU, S. Warranty data analysis: a review. **Quality and Reliability Engineering International**, v.28, n.8, p.795–805, 2012. doi:10.1002/qre.1282

WU, S.; XIE, M. Warranty cost analysis for nonrepairable services products. **International Journal of Systems Science**, v.39, n.3, p.279–288, 2008. doi:10.1080/00207720701792198

ZHAO, Y.; LEHMAN, B.; BALL, R.; MOSESIAN, J.; DE PALMA, J.-F. Outlier detection rules for fault detection in solar photovoltaic arrays. 2013. *In: Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2013.

APÊNDICE A – PORTFÓLIO FINAL DE ARTIGOS

PORTFÓLIO FINAL DE ARTIGOS

Tabela 1 – Portfólio final de artigos

| Autores | Artigo | Revista | InOrdinatio |
|---|--|--|-------------|
| Wang, X., Li, L. and Xie, M. | An unpunctual preventive maintenance policy under two-dimensional warranty | European Journal of Operational Research | 285,702 |
| Liu, P., Wang, G. and Su, P. | Optimal maintenance strategies for warranty products with limited repair time and limited repair number | Reliability Engineering and System Safety | 230,684 |
| He, Z., Wang, D., He, S., Zhang, Y. and Dai, A. | Two-dimensional extended warranty strategy including maintenance level and purchase time: A win-win perspective | Computers & Industrial Engineering | 201,035 |
| Luo, M. and Wu, S. | A comprehensive analysis of warranty claims and optimal policies | European Journal of Operational Research | 158,553 |
| Wang, X. and Xie, W. | Two-dimensional warranty: A literature review | Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O | 131,737 |
| Gupta, S.K., De, S. and Chatterjee, A. | Warranty forecasting from incomplete two-dimensional warranty data | Reliability Engineering & System Safety | 130,363 |
| Jenab, K., Pourmohammadi, H. and Sarfaraz, M. | An i-AHP&QFD warranty model | Benchmarking | 71,251 |
| Dai, A., He, Z., Liu, Z., Yang, D. and He, S. | Field reliability modeling based on two-dimensional warranty data with censoring times | Quality Engineering | 55,421 |
| Ambad, P.M. and Kulkarni, M.S. | A methodology for design for warranty with focus on reliability and warranty policies | Journal of Advances in Management Research | 55,158 |
| Blumenstock, A., Schweiggert, F., Müller, M. and Lanquillon, C. | Rule cubes for causal investigations | Knowledge and Information Systems | 51,180 |
| Ambad, P.M. and Kulkarni, M.S. | An attractiveness index-based approach for warranty optimization | International Journal of Quality and Reliability Management | 49,789 |
| Dai, A., Zhang, Z., Hou, P., Yue, J., He, S. and He, Z. | Warranty Claims Forecasting for New Products Sold with a Two-Dimensional Warranty | Journal of Systems Science and Systems Engineering | 49,553 |
| MOSKOWITZ, H. and Y H, CHUN | A poisson regression-model for 2-attribute warranty policies | Naval Research Logistics | 27,537 |
| Ambad, P.M. and Kulkarni, M.S. | A goal programming approach for multi-objective warranty optimization | International Journal of System Assurance Engineering and Management | 8,421 |
| De, S., Das, A. and Sureka, A. | Product failure root cause analysis during warranty analysis for integrated product design and quality improvement for early results in downturn economy | International Journal of Product Development | 4,211 |
| Rai, B.K. | Strategies for feedback on reliability and robustness from automobile warranty data | International Journal of Product Development | -4,248 |

| | | | |
|-----------|---|--|--------|
| Rai, B.K. | Experimental study of factors influencing maturing data phenomenon in warranty performance indicators | International Journal of Product Development | -5,789 |
|-----------|---|--|--------|

Fonte: Elaborado pela autora (2024)