

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE MATERIAIS

EVANDRO CAVALCANTE CERQUEIRA FILHO

**MÉTODO PARA IDENTIFICAR FALHAS REPRESENTATIVAS EM  
PRODUTOS MODULARES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE  
APLICAÇÕES EM CAMPO**

CURITIBA

2019

EVANDRO CAVALCANTE CERQUEIRA FILHO

**MÉTODO PARA IDENTIFICAR FALHAS REPRESENTATIVAS EM  
PRODUTOS MODULARES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE  
APLICAÇÕES EM CAMPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – Área de concentração: Engenharia de Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Milton Borsato

CURITIBA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

Cerqueira Filho, Evandro Cavalcante

Método para identificar falhas representativas em produtos modulares através da análise de dados de aplicações em campo / Evandro Cavalcante Cerqueira Filho -- 2019.

1 arquivo eletrônico (109 f) : PDF ; 3,5 MB.

Disponível via World Wide Web.

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2019.

Bibliografia: f. 104-107.

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Produtos novos. 3. Produtos industrializados. 4. Customização em massa. 5. Processos de fabricação. 6. Engenharia de sistemas. I. Borsato, Milton, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 23 – 620.1

---

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba  
Bibliotecária: Anna T. R. Caruso CRB9/935



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº369

A Dissertação de Mestrado intitulada: MÉTODO PARA IDENTIFICAR FALHAS REPRESENTATIVAS EM PRODUTOS MODULARES ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS DE APLICAÇÕES EM CAMPO, defendida em sessão pública pelo Candidato **Evandro Cavalcante Cerqueira Filho**, no dia 29 de novembro de 2019, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Milton Borsato - Presidente - UTFPR

Prof. Dr. Pablo Yugo Yoshiura Kubo - Volvo

Profª. Drª. Carla Cristina Amodio Estorilio - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, em especial a minha esposa Thais e a minha filha Alice pelo apoio, incentivo e paciência. Principalmente de tê-las deixado muitas vezes sem a minha companhia para me dedicar a este trabalho de pesquisa. O nascimento da nossa pequena Alice me trouxe mais forças e alegria, principalmente nos momentos mais difíceis desse trabalho. Agradeço a Deus por ter me dado as boas oportunidades nessa vida, principalmente saúde e calma para continuar a perseguir os meus objetivos com muita fé e amor.

Também agradeço ao Professor Milton Borsato pelo apoio e comprometimento durante todo o período de mestrado. Fui recebido desde o início com a sua paciência, compreensão e incentivo. Admiro ao seu esforço incessante por um sistema de ensino voltado a pesquisa de qualidade. A sua busca em aproximar a indústria da universidade, mostrando a importância desses dois pilares do desenvolvimento caminharem na mesma direção é admirável. Da mesma forma, fico grato por ter recebido a sua orientação para que eu não perdesse o foco no trabalho e nem nos objetivos a serem alcançados.

Agradeço a Volvo do Brasil pela oportunidade e flexibilidade que precisei ao longo desses 3 anos. Por fim, agradeço ao demais Professores da UTFPR pelos ensinamentos e incentivos para durante a realização do trabalho.

## RESUMO

CERQUEIRA FILHO, Evandro C. **Método para identificar falhas representativas em produtos modulares através da análise de dados de aplicações em campo**, 2019. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Manufatura – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 109 f.

Cada vez mais, as empresas de manufatura têm focado os seus esforços em explorar novos mercados. Essa nova realidade faz com que busquem formas mais eficientes de oferecer os seus produtos, a menor custo e sem que se perca a sua diferenciação. Com isso, o compromisso entre volume e diferenciação (i.e. customização em massa) se faz necessário e para isso as plataformas de produtos se tornaram uma prática corrente na indústria, em especial na automotiva. Porém, um outro desafio surge com o uso de plataformas: a falta de uma forma eficiente de desenvolver plataformas de produtos que permita trazer um alto nível de satisfação para os clientes. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um método capaz de auxiliar os grupos globais de projeto na identificação de falhas representativas em módulos das plataformas de produtos e na configuração de variações de produtos provenientes das mesmas. Pretende-se auxiliar os times globais de desenvolvimento de produtos a identificar problemas de configuração ineficiente de plataformas para diferentes mercados, levando-se em consideração as características específicas de aplicação de cada um deles. O procedimento metodológico é baseado no framework *Design Science Research* (DSR), segundo o qual o trabalho é realizado em seis etapas. As etapas de demonstração e avaliação da solução foram realizadas no contexto de uma indústria parceira do ramo automotivo. Os resultados mostram que é possível usar o método como uma maneira de melhorar a configuração da plataforma de produtos. A principal contribuição parte do fato de que o método realiza uma análise de dados baseada em informações reais de uso em diferentes condições de aplicação de produto.

Palavras-chaves: Desenvolvimento de Produtos, Plataformas de Produtos, Configuração de Plataformas, Customização em Massa.

## ABSTRACT

CERQUEIRA FILHO, Evandro C. **Method for identifying representative failures in modular products through field application data analysis**, 2019. Master's Degree Dissertation in Manufacturing Engineering – Post-Graduate Program in Mechanical and Materials Engineering, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 109 p.

Increasingly, manufacturing companies are focusing their efforts on exploring new markets. This new reality makes them strive for more efficient ways to offer their products at a lower cost and without losing their customization. As a result, the compromise between volume and customization (i.e. mass customization) is necessary and to support these product platforms have become a standard practice in the industry, especially the automotive one. However, another challenge arises with the use of platforms: the lack of an efficient way to develop product platforms that will bring a high level of customer satisfaction. The present work aims to develop a method capable of assisting global project groups for identifying representative failures in modules of product platforms and to set up product variations. It is intended to solve the problem of inefficient platform configuration for different markets, taking into account the specific application characteristics of each one. The methodological procedure is based on the Design Science Research (DSR) framework, according to which the work is carried out in six steps. The demonstration and evaluation steps of the solution were performed in the context of an automotive partner industry. The results show that is possible to use the method as a way to improve product platform configuration. The main contribution comes from the fact that the method performs a data analysis based on actual usage information under different product application conditions.

Keywords: Product Development, Product Platform, Platform Configuration, Mass Customization

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratégias de aproveitamento de plataformas .....	24
Figura 2 - Exemplo de família de produtos .....	27
Figura 3 - Exemplo de uma plataforma de produtos .....	28
Figura 4 - Estratégias de aproveitamento de plataformas .....	30
Figura 5 - Modelo de referência de Rozenfeld et al. (2006).....	32
Figura 6 - Modelo de referência do APQP .....	36
Figura 7 - Fases do DSR .....	42
Figura 8 - Sete passos do método desenvolvido .....	49
Figura 9 - Primeiro passo do método desenvolvido .....	50
Figura 10 - Processo de geração da base de dados de serviço .....	51
Figura 11 - Exemplo de base de dados de reclamação em campo .....	53
Figura 12 - Diferentes formas de gerar a base de dados por plataforma .....	55
Figura 13 - Módulo de plataforma com vários componentes .....	57
Figura 14 - Passo 3 do método proposto.....	61
Figura 15 - Detalhamento do passo 4.....	63
Figura 16 - Passo 5 do método proposto.....	67
Figura 17 - Exemplo de características de aplicação .....	68
Figura 18 - Detalhamento do passo 6.....	72
Figura 19 - Representação do passo 7.....	77
Figura 20 - Módulo utilizado para a demonstração do método .....	84
Figura 21 - Aplicações considerando as condições das rodovias.....	88



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos relacionados a configuração de plataformas .....	18
Quadro 2 - Exemplo de base de dados de reclamação em campo .....	52
Quadro 3 - Diferentes variantes de produtos na análise de dados .....	56
Quadro 4 - Exemplo de uma base de dados filtrada por módulo .....	57
Quadro 5 - Exemplo de correlação entre módulos .....	59
Quadro 6 - Exemplo de análise de dados em diferentes anos de registros ....	59
Quadro 7 - Identificação de componentes e ocorrências de falhas .....	62
Quadro 8 - Aplicação do critério DFMEA para ocorrência de falhas.....	66
Quadro 9 - Classificação de severidade da aplicação .....	69
Quadro 10 - Exemplo de registro de reclamação em campo.....	73
Quadro 11 - Base de dados utilizada na demonstração .....	83
Quadro 12 - Base de dados após a realização do passo 2 .....	85
Quadro 13 - Extração das palavras-chave do registro de falhas .....	91
Quadro 14 - Questionário de perguntas e respectivos critérios .....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Referência FMEA para critério de ocorrência de falha .....	64
Tabela 2 - Combinação de dados de aplicação e variantes de produto .....	70
Tabela 3 - Referência FMEA para critério de severidade de falha .....	74
Tabela 4 - Cruzamento de dados de aplicação e palavras-chave .....	75
Tabela 5 - Cruzamento de dados de aplicação e índice de severidade .....	76
Tabela 6 - Combinação de informações para cada variante de produto .....	78
Tabela 7 - Resultado da atividade de verificação dos resultados .....	86
Tabela 8 - Ocorrências de falhas por aplicação de produto.....	89
Tabela 9 - Ocorrências de falhas por variantes de produtos .....	90
Tabela 10 - Resumo das Palavras-chave encontradas por aplicação .....	92
Tabela 11 - Índice de severidade por aplicação .....	93
Tabela 12 - Sumário das informações levantadas na análise de dados.....	94
Tabela 13 - Análise de dados após ação de melhoria .....	96
Tabela 14 - Grupo de avaliação.....	97

## SIGLAS E ACRÔNIMOS

PDP	-	Processo de Desenvolvimento de Produto
P&D	-	Pesquisa e Desenvolvimento
<i>NPD</i>	<i>New Product Development</i>	Desenvolvimento de Novo Produto
<i>APQP</i>	<i>Advance Product Quality Planning</i>	Planejamento Avançado da Qualidade do Produto
<i>MBSE</i>	<i>Model-based Systems Engineering</i>	Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos
<i>MC</i>	<i>Mass Customization</i>	Customização em Massa
<i>DSR</i>	<i>Design Science Research</i>	
PPGEM	-	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais
UTFPR	-	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
<i>ProKnowC</i>	<i>Knowledge Development Process – Constructivist</i>	Processo de Desenvolvimento de Conhecimento - Construtivista
<i>SysML</i>	<i>Systems Modeling Language</i>	

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	OBJETIVOS .....	19
1.1.1	Objetivo Geral .....	19
1.1.2	Objetivos Específicos .....	19
1.2	JUSTIFICATIVA .....	20
1.3	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA.....	22
2.2	PLATAFORMA DE PRODUTOS.....	25
2.3	MODELOS DE REFERÊNCIA DO PDP.....	31
2.3.1	Modelo de Rozenfeld et. al (2006) .....	32
2.3.2	O Modelo APQP .....	35
2.4	ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS.....	37
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	41
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	41
3.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	41
3.2.1	Identificação do problema e motivação .....	42
3.2.2	Definição dos resultados esperados .....	43
3.2.3	Desenvolvimento da solução.....	43
3.2.4	Demonstração da solução.....	45
3.2.5	Avaliação da solução.....	46
3.2.6	Comunicação dos resultados .....	47
4	RESULTADOS .....	47
4.1	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO.....	48
4.1.1	Passo 1 - Carregamento da base de dados .....	49
4.1.2	Passo 2 - Definição dos parâmetros de pesquisa .....	53
4.1.3	Passo 3 - Verificação dos resultados e identificação de componentes .....	60
4.1.4	Passo 4 - Utilização critério DFMEA para ocorrência de falhas .....	63
4.1.5	Passo 5 - Classificação das aplicações e verificação das ocorrências .....	66
4.1.6	Passo 6 - Utilização do critério DFMEA para severidade e busca das palavras-chave.....	71
4.1.7	Passo 7 - Estratégia para ações de engenharia.....	76
4.2	DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO.....	82
4.3	AVALIAÇÃO DO MÉTODO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	96
5	CONCLUSÃO.....	101

REFERÊNCIAS.....	103
APENDICE A - REPRESENTAÇÃO BPMN COMPLETA DO MÉTODO .....	108

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, as empresas têm buscado formas mais eficientes para atender os diversos mercados em que atuam, com baixo custo de desenvolvimento de produtos e de produção. Com o mundo cada vez mais globalizado, os novos produtos criados precisam atender as demandas de diferentes mercados consumidores. A chave para o sucesso, em um ambiente de manufatura altamente competitivo, é habilidade das empresas criarem e desenvolverem produtos que possam se adaptar as necessidades dos consumidores (MODRAK; MARTON; BEDNAR, 2015). Para que as demandas sejam atendidas de forma a não extrapolar os custos de desenvolvimento e produção, as empresas buscam formas de compartilhar produtos nos diversos mercados em que atuam, sem deixar de lado as diferentes características e particularidades de cada mercado.

O desenvolvimento de diferentes produtos para atender a vários mercados, exige uma demanda elevada de recursos para as empresas. A partir do aumento do número de mercados atendidos, as empresas precisam desenvolver mais produtos específicos. Com isso, os custos de desenvolvimento, produção e manutenção de diferentes produtos se tornam cada vez mais elevados. Para lidar com essa questão, as empresas procuram formas mais eficientes de diminuir os seus custos de desenvolvimento. Particularmente, empresas que atuam no campo da Engenharia Mecânica, lidam com o desafio de ter que fornecer produtos customizados a preços competitivos, enquanto o mercado é altamente fragmentado em pequenos nichos (HU, 2013).

No anos 1980, a competição global e as demandas dos consumidores por produtos altamente variados levaram ao desenvolvimento da customização em massa (PINE, 1993). O conceito de *Mass Customization* (MC), ou do português customização em massa, que diz respeito a produzir produtos customizados para um mercado de massa, tem recebido atenção considerável na literatura desde sua identificação por Davis (1987). Na época, Davis sugeriu que a tecnologia existente restringia as possibilidades de produtos, mercados e organizações customizados em massa, embora ele dissesse que o fenômeno prevaleceria no futuro.

Com essa nova forma de se ofertar diferentes produtos, baseados em compartilhamento de componentes, surge o conceito de plataformas de produtos.

Um das referências mais citadas, em se tratando de plataformas de produtos é o artigo feito por Meyer e Lehnerd (1997), onde os autores definem plataforma de produtos como o conjunto de parâmetros, recursos e/ou componentes que permanecem constantes de produto para produto, dentro de uma determinada família de produtos. Uma das empresas pioneiras na introdução de plataformas de produtos foi a Black & Decker®, obtendo êxito no uso de compartilhamento de peças.

Junto ao conceito de plataforma de produtos, temos o conceito de modularidade, que é de fundamental importância quando falamos de compartilhamento de componentes. De acordo com Arnheiter & Harren (2006), a indústria de computadores iniciou o uso da modularidade de produtos nos anos 1960, onde foi obtida uma enorme vantagem competitiva. Ela permitiu as empresas lidarem com a crescente complexidade tecnológica, fragmentando os produtos em subsistemas, ou módulos, onde desenvolvedores, produtores e consumidores ganharam uma enorme flexibilidade (BALDWIN; CLARK, 2003). Um módulo em um sistema modular típico, possui muitas conexões internas entre os elementos internos do módulo, mas possui relativamente poucas conexões externas para outros módulos (SINHA; SUH, 2018).

As diferentes combinações de montagem de módulos, que são montados nas plataformas, geram uma família de produtos. Elas são definidas como um grupo de produtos relacionados que compartilham características, componentes e subsistemas comuns, de forma a satisfazer uma variedade de nichos de mercado (SIMPSON; MAIER; MISTREE, 2001). Nesse novo conceito, as empresas de manufatura desenvolvem uma arquitetura básica para os seus produtos e alguns componentes periféricos, enquanto os consumidores podem fazer a combinação de itens de acordo com a sua preferência.

Um dos grandes desafios das empresas, é como configurar as plataformas de produtos de maneira eficiente. Elas devem ser capazes de atender as demandas de mercado, principalmente em termos de qualidade percebida pelo cliente, ao mesmo tempo que trazem redução de custo de escala para companhia. O balanço a ser alcançado é a máxima utilização dos módulos, para se ganhar em compartilhamento de componentes, ao mesmo tempo que a diferenciação de produtos é necessária, para atender as diferentes demandas de mercado. Em se tratando de empresas multinacionais, especialmente automotivas, o uso de plataformas globais de

produtos é algo muito comum. Geralmente, as áreas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) estão espalhadas em diversos países. Porém, é na matriz onde se concentra a maior parte do grupo de trabalho. A partir das informações recebidas através dos diversos escritórios de Engenharia, é que decorre todas as ações de trabalho do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Os escritórios ficam responsáveis por levantar informações dos mercados locais, para que o time de desenvolvimento possa transformá-las em requisitos de projeto. Escritórios de P&D multinacionais, precisam lidar com condições de mercados heterogêneos, que devem ser consideradas na modularização de produtos (ZESCHKY et al., 2014).

Nesse contexto, é essencial que o time de projeto receba todas as informações necessárias, para fazer a correta configuração da plataforma de produtos que atenda de forma eficaz todas as aplicações. As aplicações, podem ser consideradas como as diferentes formas de uso de um produto. Os mercados possuem características específicas de uso, que são provenientes por exemplo do perfil de seus consumidores, isso gera diferentes aplicações de um mesmo produto. Diferentes aplicações demandam requisitos de mercado específicos. O PDP precisa trabalhar de forma mais integrada entre os seus diferentes escritórios de Engenharia, com o objetivo de levantar as informações mais precisas possíveis de cada mercado consumidor.

A indústria automotiva é especialmente desafiadora nesse sentido, pois precisa lidar com fontes heterogêneas de requisitos provenientes de múltiplos domínios. Isso acaba levando a metas altamente complexas para o desenvolvimento e validação de produtos. Os requisitos provenientes de diferentes aplicações de mercado podem acarretar em plataformas de produtos complexas. Como consequência, as plataformas se tornam ineficientes em termos de custo de projeto e produtos, inviabilizando a sua flexibilidade de aplicação em diferentes mercados.

Como uma forma de auxiliar o PDP no processo de configuração de plataformas de produtos, o uso de base de dados de informações de campo pode ser usado como um processo de apoio. As bases de dados são gerados pelas oficinas autorizadas a realizarem reparos, e quando bem analisadas contribuem no entendimento do desempenho da família de produtos em diferentes aplicações.

Diante da necessidade de se configurar de maneira eficiente plataformas de produtos, um estudo foi realizado pelo autor. Para que o mesmo fosse conduzido de maneira sistemática, foi utilizada a metodologia *ProKnow-C*. Um levantamento dos



artigos, que estejam dentro do contexto da presente pesquisa, foi realizado com os seguintes eixos de pesquisa: (a) *Product Development*; (b) *Platform*; e (c) *Features*. Assim, 33 artigos dentro do tema foram encontrados, onde uma análise bibliométrica e posteriormente uma análise sistêmica foram conduzidas.

A pesquisa feita por Fan et al. (2015), procura estudar o problema da modelagem da estrutura da família de produtos. Para isso, foi aplicado o método de análise de rede na modelagem da estrutura da família de produtos. Com esse método, foi possível realizar um balanço entre padronização e diferenciação da plataforma de produtos modulares. Esse método não se aplica a configuração de uma mesma plataforma de produtos, mas sim a modelagem da estrutura de uma família de produtos.

Para Goswami e Tiwari (2014), é essencial envolver todas as áreas do NPD no desenvolvimento de uma análise detalhada de risco. Segundo os autores, esse envolvimento deve ocorrer durante a fase de definição de conceito, para se fazer uma melhor configuração de produto. Para isso, os autores criaram uma metodologia considerando redes Bayesianas, com o objetivo de mapear os riscos provenientes das diferentes áreas de desenvolvimento de produtos, levando-se em consideração os aspectos de modularidade e manutenibilidade dos sistemas. O estudo traz uma boa avaliação dos riscos, porém ele não considera a importância funcional dos módulos e nem as diferentes aplicações.

Van den Broeke et al. (2017) se preocuparam em determinar o correto portfólio de plataformas, no qual os produtos provenientes de uma família de produtos sejam montados. Para isso, criaram um modelo capaz de orientar as empresas a desenvolverem um portfólio de plataformas de menor custo, onde o custo é expresso em termos da diferença de atributos técnicos entre a plataforma e o produto. Quanto maior for essa diferença, menos alinhada a plataforma estará com o produto e mais customização será necessária para desenvolver o produto a partir da plataforma. Os autores conseguiram obter uma boa identificação do portfólio de plataforma ótimo, em função do seu custo de desenvolvimento e customização. Porém, o estudo está focado em custo e não na qualidade que é percebida pelo cliente final

O estudo realizado por Schuh, Rudolf e Riesener (2014), desenvolve uma metodologia que permite as companhias a determinar a "configuração ótima" de um produto, baseado nas similaridades entre as variantes de um novo produto e de um

produto já ofertado pela empresa. O trabalho contribui de forma a oferecer uma metodologia, que diminui o esforço interno da companhia para diferenciar produtos, ao mesmo tempo que satisfaz as necessidades dos clientes. Além disso, serve de guia para identificação analítica de produtos similares durante o processo de configuração. O objetivo do estudo não é a configuração de plataforma voltados a diferentes aplicações, mas sim de diferenciação de produtos baseados em similaridade. Com o propósito de identificar o ponto apropriado entre quantidade de variantes de produtos e complexidade, Modrak, Marton e Bednar (2015) desenvolvem uma estrutura metodológica para gerar todas as configurações de produtos possíveis, baseada na quantidade e tipos de componentes ou módulos disponíveis na linha de montagem. Assim, a complexidade foi categorizada em níveis, de forma a se escalar os produtos em termos de sua complexidade. Esse é um estudo que visa a configuração de produto em termos da sua complexidade e não do seu desempenho em diferentes aplicações.

Abbas e Elmaraghy (2018) estudam a respeito da otimização do processo de montagem de produtos customizados, através do mapeamento da plataforma de produtos e plataforma de sistema de montagem. O estudo contribui em determinar o tipo e quantidade de ferramentas de montagem, otimizando o uso do ferramental e minimizando o custo total de investimento. Nesse caso, o impacto da configuração da plataforma é estudado em termos de desempenho da linha de montagem e não de aplicação da plataforma em diferentes mercados.

Ainda a respeito da complexidade de produtos, JOHANSSON et al. (2016) fazem um estudo da relação entre a variedade do produto e a qualidade da produção, no contexto da indústria de caminhões. Essa relação é analisada através do planejamento do processo, tempo de variação do ciclo e complexidade percebida da produção, no ambiente fabril da empresa. O estudo contribui, em entender como a variedade do produto afeta a situação de trabalho do operador e como isso se conecta com a qualidade da produção. Os autores, não buscam entender como a qualidade da produção afeta o desempenho da plataforma, nem como o seu desempenho será afetado em diversas aplicações.

Em se tratando de produtos customizados, a capacidade da produção em absorver bem a montagem das diversas variantes de produtos, levou Ren, Guan e Hu (2018) a desenvolverem um estudo a respeito da linha de montagem modular. No estudo, os autores focam na montagem final de produtos, onde a tradicional linha

de montagem em série não é capaz de atender a alta demanda de produção de diferentes produtos. Com isso, os autores relatam que estações de montagem de módulos são capazes de entregar melhores resultados, quando comparado com o sistema tradicional de produção em série. No estudo, não há comparação do impacto das diferentes configurações de plataformas na produção modular de produtos. O quadro 1 mostra um resumo dos trabalhos apresentados.

**Quadro 1** - Trabalhos relacionados a configuração de plataformas

<b>Autores</b>	<b>Problema de pesquisa identificado</b>	<b>Impacto na configuração de plataformas</b>	<b>Considera grupos de P&amp;D separados geograficamente</b>
Fan <i>et al.</i> (2015)	Modelagem da estrutura da família de produtos	Sim	Não
Goswami e Tiwari (2014)	Análise de risco de diferentes áreas durante as fases iniciais do PDP	Sim	Não
Van den Broeke <i>et al.</i> (2017)	Determinação do correto portfólio de plataformas	Sim	Não
Schuh, Rudolf e Riesener (2014)	Configuração de produtos, baseado nas similaridades entre variantes	Sim	Não
Modrak, Marton e Bednar (2015)	Relação entre variantes e complexidade na configuração de produtos	Sim	Não
Abbas e Elmaraghy (2018)	Otimização do processo de montagem de produtos derivados de plataformas	Sim	Não
JOHANSSON <i>et al.</i> (2016)	Relação entre a variedade do produto e a qualidade da produção	Sim	Não
Ren, Guan e Hu (2018)	Linha de montagem modular e linha em série	Não	Não
<b>Proposta de trabalho</b>	<b>Configuração de plataformas de produtos, considerando diferentes aplicações de mercado</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>

**Fonte:** O autor

O quadro acima nos mostra que é perceptível o problema de configuração de plataformas de produtos, considerando as características de aplicação de cada mercado é um assunto relevante à indústria.

Diante dos diversos estudos encontrados a respeito do tema, o presente trabalho pretende responder a seguinte questão: Seria possível configurar uma plataforma de produtos para ser utilizada em diferentes mercados consumidores, considerando características específicas de aplicação dos mercados, e utilizando-se de grupos de P&D separados geograficamente?

O presente trabalho, está inserido no Programa de Manufatura Inteligente, que faz parte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O Programa de Manufatura Inteligente, tem como objetivo desenvolver trabalhos de pesquisa no contexto de empresas de manufatura. O trabalho visa explorar a influência das diferentes aplicações de produtos no desempenho da família de produtos, auxiliando na configuração eficiente da plataforma de produtos para ser utilizada em diferentes mercados consumidores.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é desenvolver um método capaz de auxiliar os grupos de P&D globais a identificar falhas representativas nos módulos utilizados em plataformas de produtos, considerando-se condições de aplicações específicas de cada mercado. Com o uso do método, será possível identificar em quais aplicações e variantes de produtos os módulos apresentam maiores índices de falha. A partir daí, o time de projetos poderá usar essas informações para configurar de maneira mais eficiente as plataformas de produtos. Sendo assim, as plataformas poderão ser utilizadas de maneira mais assertiva nos diversos mercados nos quais elas são oferecidas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, é necessário que objetivos específicos sejam traçados. Dessa forma, temos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo bibliográfico, com o objetivo de levantar o estado da arte a respeito do tema plataformas de produtos;
- Desenvolver um método para configuração de plataformas de produtos, considerando grupos globais de P&D separados geograficamente;
- Demonstrar o novo método no grupo de P&D de uma empresa parceira da região de Curitiba;

- Avaliar o método através da aplicação de um questionário aos grupos de P&D envolvidos na demonstração, onde serão considerados os seguintes critérios: operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso;
- Divulgar o método no meio acadêmico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os usuários finais dos produtos, podem ser segmentados em diferentes grupos de mercado, com base no mesmo tipo de expectativas relacionadas aos produtos (LIU; KIANG; BRUSCO, 2012). Quando uma empresa de manufatura, desenvolve produtos para vários mercados, diferentes expectativas devem ser levadas em consideração. Essas expectativas, são traduzidas em diferentes requisitos de engenharia, em se tratando de PDP. Sendo assim, os requisitos são traduzidos no produto, em termos da sua capacidade de atender as diferentes expectativas geradas pelos mercados.

Para que as expectativas sejam atendidas, a indústria precisa ser capaz de criar produtos customizados, ao mesmo tempo que deve manter a sua capacidade de gerar lucros. Para que isso venha a ser uma realidade, as empresas buscam investir em segmentação de produtos, sem deixar de ter o ganho de escala em suas vendas. Para a indústria de manufatura, em especial as montadoras de veículos, uma das formas mais eficientes e de baixo custo, é o desenvolvimento de plataforma de produtos, que são capazes de gerar famílias de produtos para atender diferentes mercados.

Partindo do pressuposto que uma plataforma de produtos é criada para gerar um customização em massa, a eficiência de sua aplicação é medida pelo retorno financeiro do seu desenvolvimento e pelo nível de satisfação dos mercados utilizadores dos produtos criados a partir da mesma.

Diante desse contexto, o presente trabalho auxilia na identificação de problemas de configuração de plataformas de produtos para diferentes mercados, pois considera dois aspectos muito importantes. O primeiro, é a importância de se considerar as características das aplicações de plataformas existentes, pois uma plataforma que é desenvolvida globalmente, tem como objetivo atender a todas as demandas de mercado. A segunda, é que o método considera o distanciamento geográfico dos diferentes grupos de P&D como um fator importante durante o

projeto de plataformas. A utilização da abordagem de Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE - *Model-based System Engineering*), contribui para o entendimento da complexidade de trabalho de diferentes times, que mesmo não estando em contato direto, devem ser capazes de trabalhar de maneira integrada.

Os ganhos estão relacionados a uma maior otimização do processo de configuração de plataformas de produtos, a maior assertividade na oferta de plataformas para diferentes segmentos de mercado e uma maior retorno financeiro da empresa, garantido pelo aumento do nível de satisfação dos clientes.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esse trabalho está focado no desenvolvimento de um método para configuração de plataformas de produtos voltados a customização em massa. Dessa forma, a pesquisa não será aplicada a plataformas que não serão utilizadas para criação de diferentes produtos. A pesquisa, não busca alterar a função fim da plataforma de produtos, que é gerar economia de escala ao mesmo tempo que oferta uma customização de produtos.

Também não será mérito dessa pesquisa, desenvolvimento de *softwares* ou programas de computadores, uma vez que está voltada a desenvolvimento de um método.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, foi apresentada uma revisão bibliográfica a respeito do tema, bem como a fundamentação teórica e os objetivos. Por fim a justificativa e a delimitação da presente pesquisa. No capítulo 2, será exposta a fundamentação teórica, que apresenta os principais conceitos que serão abordados na pesquisa. No capítulo 3, os aspectos metodológicos mais importantes são apresentados, assim como os procedimentos que serão utilizados na elaboração do estudo e na análise de dados, além da caracterização da pesquisa. Os resultados e as discussões referentes a aplicação do método são apresentados no capítulo 4. No capítulo 5, será apresentada a conclusão com as considerações finais a respeito do trabalho realizado. Por fim, encontram-se as referências bibliográficas utilizadas no decorrer do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados conceitos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente, é apresentado o conceito de Customização em Massa. Na sequência, será conduzida uma explanação a respeito de Plataforma de Produtos. O Processo de Desenvolvimento de Produtos, com ênfase no APQP (*Advance Product Quality Planning*) é apresentado e por fim é mostrada a abordagem da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos.

### 2.1 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

Um dos principais desafios das empresas é atender diversos mercados, mantendo um alto nível de satisfação dos clientes. Cada mercado possui uma característica particular, onde as demandas dos consumidores geram diferentes expectativas. Dentro de um mesmo mercado consumidor, como por exemplo um país em particular, podem haver diferentes segmentações. E ainda dentro de cada uma das segmentações de mercados, podemos ter diferentes níveis de exigência de consumidores. Esses diferentes padrões de mercado, geram uma complexidade enorme de atendimento de expectativas. Para as empresas, é quase impossível atender cada demanda específica de mercado com diferentes produtos customizados. Caso o fizesse, poderia aumentar demasiadamente os custos de desenvolvimento de produtos específicos, comprometendo a saúde financeira da empresa.

Por outro lado, se a empresa ofertar produtos padronizados para todos os mercados em que ela opera, não será capaz de gerar um nível de satisfação adequado. A produção tradicional em massa de produtos padronizados, aproveita economias de escala que geram uma redução da média do custo unitário dos produtos e serviços, aumentando o volume de produção, para um único tipo de produto. A chave da eficiência da produção em massa é produzir e entregar mais de um determinado produto ou serviço, ao custear os custos fixos com altas quantidades de produção.

Dessa forma, podemos observar que deve haver um balanço adequado entre customização e custo de desenvolvimento. Para lidar com essa questão, as

empresas passaram ao longo dos anos a encontrar formas de continuar atendendo à diferentes mercados, porém procurando manter os crescentes custos de desenvolvimento e fabricação de produtos em um nível aceitável.

Os avanços tecnológicos das últimas décadas permitiram, que as empresas pudessem customizar seus produtos a baixo custo e que os clientes obtenham os benefícios de produtos customizados a preços relativamente baixos (DURAY et al., 2000). Com a crescente flexibilidade incorporada nos modernos sistemas de manufatura e a capacidade de programação em tecnologias de computação e comunicação, as empresas com volumes de produção baixos ou médios, podem ganhar vantagem sobre os concorrentes, implementando a customização em massa (JIAO; TSENG, 1999).

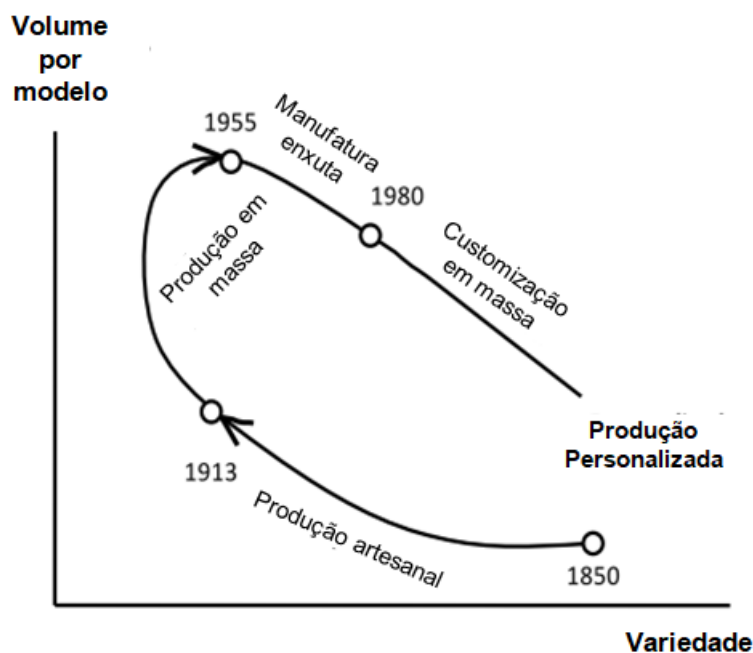
Pine (1993), popularizou ainda mais o conceito de MC e definiu a customização em massa como algo que proporciona uma enorme variedade de customização individual, a preços comparáveis a bens e serviços padronizados. Ainda segundo o autor, possibilita a produção de produtos e serviços com variedade e customização suficientes, de forma que quase todos possam encontrar exatamente o que procuram.

Segundo Wang (2017), a principal característica da customização em massa é a capacidade de integrar as variedades de produtos, que são provenientes das necessidades individuais de cada cliente. Com a repetição da modularidade de componentes e a eficiência da produção em massa, os produtos tornam-se acessíveis devido ao baixo custo do produto obtido pela economia de escala.

Observando a figura 1, é perceptível que ao mesmo tempo que a customização em massa aumenta a variedade de produtos, ela diminui o volume por produto.



**Figura 1** - Estratégias de aproveitamento de plataformas



Fonte: Adaptado de Hu et al. (2011)

Apesar de parecer desvantajoso em uma primeira análise, a MC tem como um dos princípios o aproveitamento de mesmos módulos em diferentes produtos, o que a nível de componente gera uma economia de escala.

Dessa forma, embora a MC forneça alta variedade para os consumidores escolherem, essa alta variedade pode introduzir uma complexidade nos sistemas de montagem, o que afetaria o desempenho do sistema. Com isso, o papel do consumidor é limitado a escolher as combinações de módulos, podendo não ser capaz de obter o produto exatamente como ele deseja (HU, 2013).

A customização em massa deve seguir alguns aspectos, para que possa manter a sua capacidade de gerar economia de escala. A capacidade da MC, pode ser definida como a capacidade de oferecer um volume relativamente alto de opções de produtos, para um mercado relativamente grande e que exige customização, sem compensações substanciais em custo, entrega e qualidade (HUANG; KRISTAL; SCHROEDER, 2008). A MC tem quatro aspectos, que são consideradas para medir a sua capacidade: (1) customizar produtos enquanto mantém alto volume, (2) customizar produtos sem aumentar substancialmente os custos, (3) responder

rapidamente às demandas de customização e (4) customizar produtos com qualidade consistente (WANG et al., 2016).

Os consumidores geralmente enfrentam o desafio de adquirir produtos com uma qualidade inconsistente, a partir do momento que a variedade de produtos aumenta consideravelmente. Os fabricantes devem implementar tecnologias e sistemas avançados e inovadores, para fornecer produtos através da customização em massa, que satisfaçam as necessidades de qualidade individuais dos clientes com uma eficiência de produção quase total (SALVADOR; DE HOLAN; PILLER, 2009).

Diante das vantagens proporcionadas pela MC, as empresas buscaram formas de fazer com que essa nova forma de ofertar produtos para vários mercados fosse aproveitada ao máximo. Para isso, os grupos de PDP criaram novas estratégias de desenvolvimento de produtos, sendo que a mais usada atualmente é a plataforma de produtos.

## 2.2 PLATAFORMA DE PRODUTOS

O mundo competitivo da manufatura, exige que os fabricantes introduzam um número crescente de produtos com vida útil mais curta e a um custo menor. Isso exige que as fábricas busquem continuamente maneiras de reduzir os custos de produção, enquanto ainda oferecem produtos atraentes. Como resultado, o foco na manufatura vem mudando da produção em massa para a customização em massa (BEN-ARIEH; EASTON; CHOUBEY, 2009). Esse fenômeno é demonstrado pelo fato de que, de 1973 a 1989, houve um aumento de 70% no número de modelos de carros produzidos nos EUA, com queda proporcional no volume de produção por modelo (MACDUFFIE et al., 1996). Devido aos mercados saturados e à crescente concorrência, as empresas produtoras precisam resolver o dilema entre economias de escala e a customização de produtos. Portanto, eles têm que oferecer produtos inovadores e individuais com preços razoáveis que atendam às necessidades dos clientes em todo o mundo (SCHUH; RUDOLF; VOGELS, 2014). Atualmente, as empresas tentam satisfazer as necessidades cada vez mais específicas dos clientes, em mercados já saturados e com isso acabam aumentando o número de variantes de produtos (SCHUH; RUDOLF; BREUNIG, 2016). Diversos requisitos de mercado e a alta variedade, levam a uma maior complexidade de produtos e

também das empresas. Para gerenciar essa complexidade, as plataformas de produtos modulares se mostram uma abordagem muito eficiente na solução do dilema entre customização e complexidade de produtos.

Na literatura, vários autores conectam a definição de plataforma de produtos a produtos modulares. No contexto da indústria de manufatura, a plataforma de produtos está diretamente ligada ao desenvolvimento de produtos modulares. De acordo com Simpson et al. (2014), plataforma de produtos é definida como o grupo de recursos, componentes, módulos e submontagens que são compartilhados entre todas as variantes de produtos, dentro de uma família de produtos. A família de produtos é definida como um conjunto de produtos relacionados, que compartilham componentes, módulos ou submontagens (ELMARAGHY, 2009). Como visto acima, plataforma de produtos tem como função primordial, permitir uma economia de escala, quando uma customização de produtos se faz necessária. Isso é garantido, através da utilização de componentes, ou módulos em comum. Uma plataforma de produto modular é definida por um conjunto de módulos, que podem ser conjuntos ou componentes. Com base em interfaces padronizadas, esses módulos podem ser combinados de forma diversa para obter uma determinada gama de variantes de produtos (SCHUH; RUDOLF; RIESENER, 2014). O que é importante entender nesse conceito, é que tão importante quanto o compartilhamento dos componentes, ou módulos, é que as interfaces entre os diferentes módulos sejam comuns. Isso irá permitir, uma fácil interação entre os diferentes produtos, especialmente quando tratamos de linha de montagem.

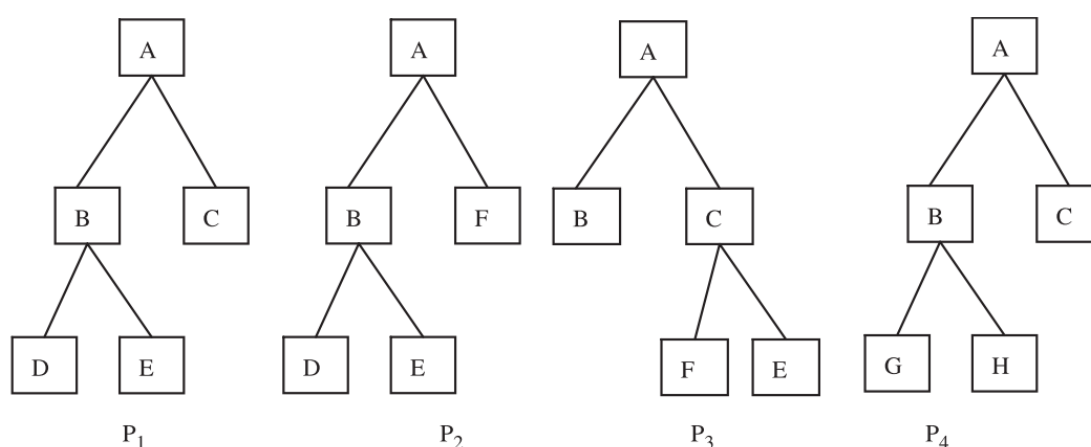
Portanto, as empresas automotivas geralmente desenvolvem plataformas de produtos modulares, para atender diferentes mercados. Inicialmente, as plataformas foram aplicadas pela indústria automotiva, mas desde então têm sido exploradas para vários outros ramos da indústria. Levando em consideração, que um conceito de plataforma específico de uma empresa, depende das influências do ambiente com o qual a empresa interage, não há uma solução universalmente aplicável quando se trata de desenvolvimento de plataformas de produtos modulares (SCHUH; BARG, 2016).

Muitas empresas, tentam lidar com a questão de customização a baixo custo, estruturando seus produtos por meio de plataformas de produtos modulares. Como visto anteriormente, a implementação de plataformas para configuração de produtos, permite que as empresas configurem os seus produtos a partir de um determinado

conjunto de componentes padrão. No entanto, as empresas do ramo de engenharia mecânica, enfrentam o desafio de que a intervenção do cliente ocorra mais cedo no processo de atendimento de requisitos. Como resultado, uma parte significativa de novos recursos ou componentes é determinada diretamente pelo cliente (SCHUH; RUDOLF; RIESENER, 2014). Com uma maior intervenção dos clientes, a complexidade dos produtos pode aumentar consideravelmente, o que pode diminuir a eficiência na aplicação de plataformas. Dessa forma, é necessário se buscar o equilíbrio, pois quanto maior a complexidade dos produtos ofertados, maior será a complexidade da plataforma.

De acordo com Ben-Arieh, Easton e Choubey (2009), a figura 2 mostra como são configurados os produtos, provenientes de uma plataforma. Esses produtos formam uma família de produtos, que derivam entre si através da combinação de diferentes módulos. Na figura 4, observamos quatro produtos, P1, P2, P3 e P4. Esses quatro produtos, formam uma família de produtos. Cada um deles, é formado através da montagem de diferentes componentes (ou módulos). Dessa forma, temos os módulos A, B, C, D, E, F, G e H.

**Figura 2** - Exemplo de família de produtos

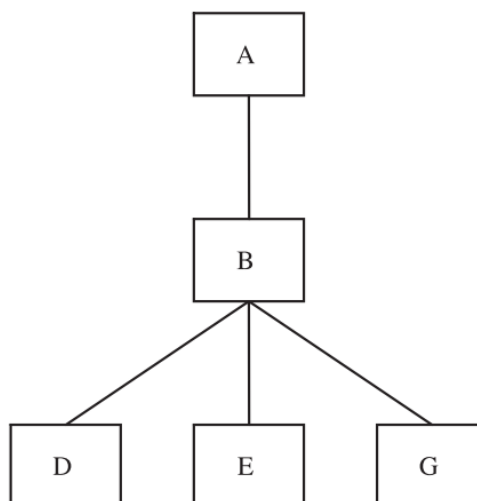


**Fonte:** BEN-ARIEH, EASTON e CHOUBEY (2009)

Seguindo o exemplo, uma plataforma de produtos, para a família da figura 4, poderia ser considerada como formada pelos módulos A, B, D, E, e G, conforme a figura 3. Sendo assim, o produto P1 seria criado usando a plataforma, porém

removendo G e adicionando C. Da mesma forma, P3 removeria D e G e adicionaria C e F.

**Figura 3** - Exemplo de uma plataforma de produtos



**Fonte:** BEN-ARIEH, EASTON e CHOUBEY (2009)

O uso de plataforma só se justifica, quando a montagem dos módulos na plataforma puder ser feito de maneira eficiente, usando métodos de produção em massa. Assim, adicionar e remover componentes de uma plataforma para se adequar a um determinado produto geralmente custa mais do que se o item estivesse incluído na plataforma. Cada plataforma exige um custo de instalação (em termos de preparação de gabaritos e acessórios, métodos de produção automatizados, etc.), o que geralmente impede que um fabricante tenha uma plataforma separada para cada produto (BEN-ARIEH; EASTON; CHOUBEY, 2009).

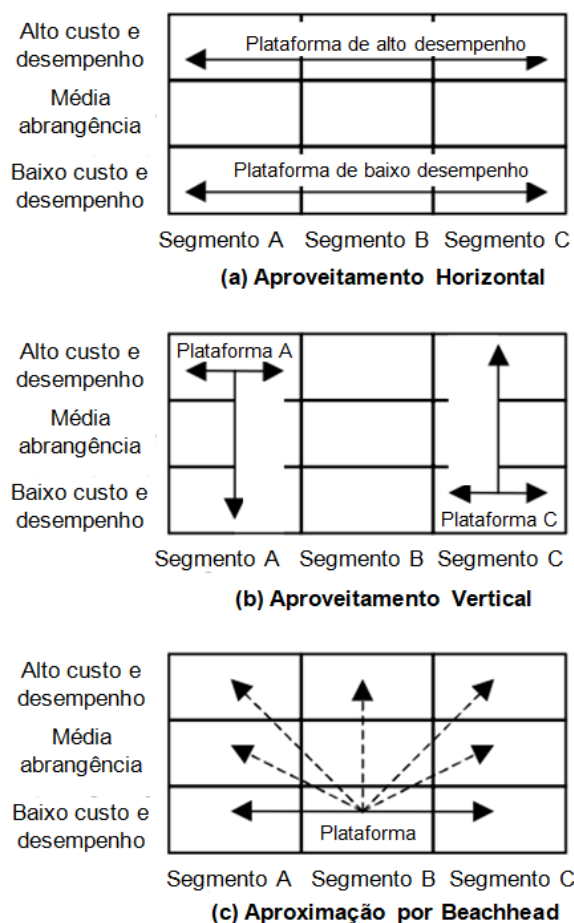
A área de planejamento de produto, deve trabalhar de maneira a encontrar configurações de produtos capazes de extrair o máximo de aproveitamento das plataformas. Para Moore, Louviere e Verma (1999), organizar o planejamento de produtos, para o desenvolvimento de uma plataforma, gera benefícios como por exemplo:

- Mantém o foco em decisões que geram impacto em custo e desempenho dos produtos gerados a partir de plataformas;
- Aumentam as chances de investir recursos nas principais oportunidades dos produtos;

- Minimiza a sobreposição de diferentes produtos no mercado;
- Economiza custos de Engenharia, manufatura e compras;
- Diminui a complexidade de montagem na manufatura, ao mesmo tempo que mantém uma variedade de opções de produtos para os clientes;
- Aumenta a quantidade de variantes para o mercado.

Com isso, as decisões para configuração de plataformas e conseqüentemente de produtos começa no início do PDP, já na fase de Pré-desenvolvimento. Algumas estratégias, para desenvolvimento de plataformas de produtos, são encontradas na literatura. A mais citada, é a desenvolvida por Meyer e Lehnerd (1997), onde os autores definem três estratégias para aproveitamento de plataformas. De acordo com a figura 4, os diferentes segmentos de mercado atendidos por uma empresa, estão listados no eixo horizontal. O eixo vertical reflete diferentes níveis de preço e desempenho dentro de cada segmento de mercado.

Os autores incentivam o desenvolvimento de estratégias para aproveitamento de plataformas de produtos horizontalmente em faixas de segmento de mercado, desenvolvendo com isso plataformas com o mesmo nível de desempenho e custo de produto. Verticalmente, abrangendo diferentes níveis de exigência de desempenho e custo de produto, porém dentro de um mesmo segmento de mercado e por fim em uma aproximação chamada de *beachhead*, onde uma mesma plataforma de produtos é desenvolvida para atingir diferentes segmentos e exigências de mercado (SEEPERSAD; MISTREE; ALLEN, 2002).

**Figura 4 - Estratégias de aproveitamento de plataformas**

**Fonte:** Adaptado de MEYER e LEHNERD (1997)

Ainda não está claro, quanto do mercado deve ser coberto por uma única plataforma, quando é apropriado projetar e fabricar mais de uma plataforma e quais produtos devem ser baseados em uma plataforma específica. Esse estudo deve ser mais aprofundado, considerando vários fatores de mercado, como qualidade, aplicações específicas, custos associados aos dados de garantia, etc.

Como visto, as plataformas de produtos são muito utilizadas para criar novos produtos. Uma das questões, que cabe ao PDP resolver é como configurar as plataformas, para que elas possam atender as diversas demandas dos diferentes mercados consumidores. Para isso, o PDP deve aproveitar os seus modelos de referência, de forma a trabalhar de maneira mais integrada possível com os diversos grupos globais de desenvolvimento.

Assim, o próximo tópico diz respeito aos modelos de referência do PDP e como eles podem ser usados no desenvolvimento e configuração de plataformas de produtos.

### 2.3 MODELOS DE REFERÊNCIA DO PDP

O desenvolvimento de um produto, requer uma estrutura organizacional que siga processos bem definidos. O processo de desenvolvimento de produto, pode ser entendido como parte do ciclo de vida do produto, que abrange desde a sua concepção até o seu descarte na natureza. Normalmente, é um dos processos fundamentais de uma empresa. O desenvolvimento de produtos dentro de uma empresa, é um processo muito importante dentro das atividades realizadas pela mesma e é utilizado para alcançar as metas corporativas. O PDP inclui vários outros processos, que em conjunto servem para concepção de um produto, indo da ideia inicial até a produção do mesmo.

Em se tratando de plataformas de produtos, podemos dizer que encontramos vários benefícios para o PDP. Em particular, as seguintes vantagens no processo de desenvolvimento de novos produtos são destacadas: maior velocidade no desenvolvimento de produtos, redução de custos de desenvolvimento de produtos, maior confiabilidade de produtos, maior variedade e menor complexidade gerencial, maior flexibilidade de estratégia de negócios (MUFFATTO; ROVEDA, 2000).

Os produtos derivados de plataformas são desenvolvidas seguindo modelos conhecidos de PDP, como o de Rozenfeld et al. (2006). Como citado anteriormente, os benefícios provenientes do desenvolvimento de plataformas de produtos nos ajuda a entender, porque cada vez mais as empresas adotam essa estratégia para criação de produtos.

Vários autores abordam a elaboração do PDP, onde modelos de referência foram criados para auxiliar os grupos de trabalho no processo de desenvolvimento. Como exemplos de referência no âmbito nacional, temos o modelo criado por Rozenfeld et al. (2006). Esse modelo, apresenta dentro de suas particularidades, fases de projeto inicial, ou planejamento, de desenvolvimento e de implementação ou pós-desenvolvimento. Na indústria automotiva, o modelo de referência utilizado é o APQP, ou Planejamento Avançado da Qualidade do Produto, onde toda a cadeia

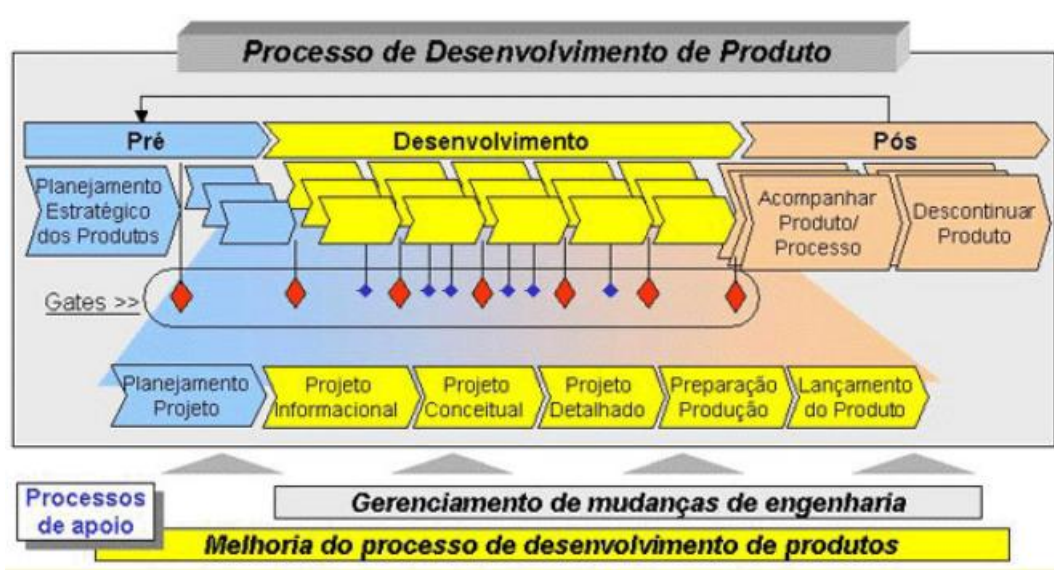


de fornecedores é obrigada por norma a seguir esse processo. A seguir iremos tratar com mais detalhes os dois modelos.

### 2.3.1 Modelo de Rozenfeld et. al (2006)

Para Rozenfeld et al. (2006), o PDP pode ser bem gerenciado com a criação de um modelo, que permita uma visão global das atividades realizadas durante o processo, dos recursos, do fluxo de informações e da organização. Esse modelo, foi criado para que as empresas de manufatura possam administrar de forma efetiva o desenvolvimento de seus produtos. No modelo de PDP proposto por Rozenfeld et. al (2006), visto na figura 5, temos distribuído ao longo do processo, as macrofases, que são o pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Dentro das macrofases, temos as fases de desenvolvimento.

**Figura 5** - Modelo de referência de Rozenfeld et al. (2006)



**Fonte:** Rozenfeld et al. (2006)

Nessas fases, atividades são realizadas e entregas devem ser feitas, para que se possa iniciar a fase seguinte. Para Rozenfeld et al. (2006), as fases servem para delimitar uma entrega, ou seja, elas são finalizadas somente quando as entregas previstas para aquele período são concluídas. A revisão das entregas se dá em forma de *gates*, que são os pontos de avaliação e recomendação dentro do processo. Neles, as entregas serão revistas e avaliadas se estão dentro do

determinado como aceitável, caso estejam dentro do previsto uma nova fase se iniciará.

Conforme visto na figura acima, o processo se inicia na macrofase de pré-desenvolvimento. Nessa etapa, temos duas fases, a primeira de Planejamento Estratégico dos Produtos e em seguida a de Planejamento do Projeto. Na primeira fase, temos a identificação das necessidades do mercado e a definição das estratégias de mercado que a empresa irá adotar. A partir da definição das estratégias, a empresa irá montar um portfólio de produtos para atender as demandas de mercado estabelecidas. Assim ao final dessa fase, os produtos terão as suas configurações definidas, com datas de início de desenvolvimento e de lançamento. A fase de Planejamento de Projeto, descreve as informações específicas de cada projeto, com o detalhamento do escopo de cada produto e do projeto, o tempo de projeto, os recursos que serão necessários e o custo de execução. Com todas essas informações, há uma priorização dos projetos mais importantes e um fórum de decisão irá aprovar ou não o início do desenvolvimento do projeto.

Com a aprovação do desenvolvimento do projeto, temos início da macrofase de desenvolvimento, onde temos cinco fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Detalhado, Preparação da Produção e Lançamento do Produto.

Na fase de Projeto Informacional, é onde são levantadas as especificações do produto, para que ele alcance o desempenho esperado. Com isso o escopo do produto é revisado e atualizado, com o objetivo de se detalhar as características que o produto precisa ter. Nessa fase, os requisitos exigidos pelos clientes são identificados e as características do produto são alinhadas à eles. Como saída principal dessa fase, temos as informações de especificação-meta do produto.

A próxima fase é o Projeto Conceitual, onde são definidas as primeiras soluções técnicas do produto. Esboços de formas, soluções primárias de integração e montagem são definidas. Propostas de componentes, subsistemas e peças para montagem do produtos são apresentadas, essas serão analisadas para que possam ser comparadas entre si, com o objetivo de se definir a melhor solução técnica. Como informação de saída, temos a definição de uma concepção de produto escolhida, tendo essa que atender aos requisitos de mercado previamente levantados.

Seguindo, temos uma das fases mais importantes que é o Projeto Detalhado. Nessa fase, é onde o detalhamento dos requisitos técnicos do produto são definidas. Todas as especificações técnicas, como tolerâncias de formas e montagem são definidas e é nesse momento que o *design* final de todos os componentes são finalizados. Assim, a aprovação final das características técnicas e funcionais é realizada através de protótipo, bem como as especificações de fabricação e montagem. Vários testes são realizados, afim de se garantir que o produto irá conseguir atender as aplicações de mercado. No final dessa fase, teremos a homologação do produto.

A Preparação da Produção, é onde se realizam as atividades voltadas a definição do processo fabril. É nessa fase que os processos e métodos de produção são homologados. Para isso, são feitas montagens de lotes pilotos de produção e os resultados são utilizados para aprovação ou não do processo de fabricação do produto. É nesse momento, que o projeto precisa garantir que a empresa conseguirá produzir produtos com um volume definido, seguindo os padrões de qualidade de montagem e que atendam os requisitos dos clientes. As informações de saída dessa fase são a liberação da produção, especificações de montagem e fabricação, capacitação de pessoal e documentos de homologação e especificação do processo de manutenção.

A última fase, dentro da macrofase de Desenvolvimento é a de Lançamento do Produto. Nesse ponto, as atividades estão voltadas para o processo de comercialização do produto. São definidos os canais de venda, formatação das ações e Marketing, definição do processo de atendimento ao cliente e assistência técnica. É nessa fase que se inicia propriamente a produção e venda do produto. Como informações de saída temos especificações do processo de venda, atendimento ao cliente e assistência técnica.

Uma vez que o produto esteja no mercado, temos o início da macrofase de Pós-Desenvolvimento, onde encontramos duas fases. A primeira fase é de Acompanhamento de Produto e Processo e a segunda de Descontinuar o Produto do Mercado. Na primeira fase, o grande foco são as informações provenientes da assistência técnica, pois são elas que irão sugerir mudanças no produto. Essas mudanças podem ser para melhoria do produto, onde por exemplo existam problemas técnicos não resolvidos durante as fases iniciais do projeto, ou atualização de acordo com novas demandas de mercado. Acompanhamento de

desempenho de vendas e avaliação de desempenho são monitoradas de forma a se tomar ações corretivas, caso necessite.

Por fim, a fase de Descontinuidade do Produto é onde inicia-se a preparação para retirada do produto do mercado. Isso pode ser determinado por condições econômicas, como por exemplo o retorno financeiro já não é mais vantajoso, ou quando a empresa define uma nova estratégia para o mercado.

Assim, no modelo proposto por Rozenfeld et al. (2006), é possível verificar que a macrofase de Desenvolvimento é onde se contempla a maior parte das atividades de definição e detalhamento de produto. São nas fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual, que as possíveis mudanças de produtos são menos impactantes no custo do projeto, uma vez que ainda não temos o produto inteiramente detalhado. É nessa fase, que as configurações de plataformas devem ser estabelecidas, de forma a se evitar futuras mudanças que venham a gerar mais custos de adaptação.

### 2.3.2 O Modelo APQP

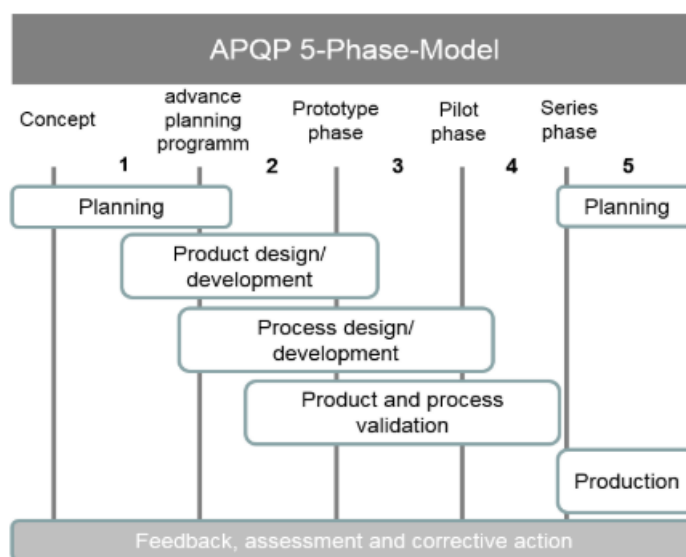
O APQP é um modelo criado para que se possa garantir o atendimento do nível de qualidade do produto, dentro dos prazos estipulados pelo cliente. Dentro da indústria automotiva, o método de Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP) é um padrão estabelecido. O APQP é uma estrutura que inclui, procedimentos e ferramentas orientados para a qualidade dentro do processo de criação do produto (KIEFER; ALLEGRETTI; BRECKLE, 2017).

Esse modelo serve como um guia no processo de desenvolvimento, além de auxiliar a definir a melhor maneira de compartilhar resultados entre fornecedores e empresas automotivas. O APQP, faz com que todos os grupos envolvidos no planejamento e desenvolvimento do produto final possam se compreender. Entre os diversos benefícios, podemos destacar a ajuda na redução de possíveis falhas, resultando em maior qualidade dos veículos fabricados.

No processo de criação de produtos, o APQP cobre principalmente as fases de desenvolvimento, industrialização e lançamento do produto. Como pode ser observado na figura 6, o APQP pode ser dividido em cinco fases. A primeira fase representa o planejamento e a definição do programa. A criação e desenvolvimento do produto, está representado na segunda fase e usa métodos de qualidade

preventiva, como FMEA. Na terceira fase, temos a configuração do processo de produção, onde as principais características do sistema de produção são avaliadas. Os métodos usados nesta fase são, por exemplo, o FMEA de processo, gráficos de processo ou procedimentos de operação padrão. Na quarta fase, encontra-se a validação do processo e do produto, nesse momento são feitos lotes pilotos. A última fase inclui o início de produção, avaliação e ação corretivas são tomadas caso necessário.

**Figura 6** - Modelo de referência do APQP



**Fonte:** KIEFER, ALLEGRETTI e BRECKLE (2017)

Vários são os princípios de implementação do APQP. De acordo com BOBREK e SOKOVIC (2005), podemos considerar que é fundamental a organização do time de projeto. Esse, deve conter representantes de todas as áreas envolvidas no projeto, como engenharia, manufatura, compras, etc. O escopo do projeto deve ser definido nas fases iniciais do PDP, onde as necessidades dos clientes, expectativas e requisitos devem ser levantados. Um canal de comunicação eficiente, onde o time possa trocar informações de forma clara e objetiva, deve ser estabelecido. Para o sucesso do APQP, o envolvimento dos fornecedores e clientes deve acontecer durante todo o desenvolvimento, isso irá contribuir na assertividade e principalmente qualidade do produto.

A Engenharia Simultânea, deve ser considerada como um princípio primordial no sucesso do planejamento da qualidade do produto. No APQP, o envolvimento de todas as áreas para alcançar um objetivo comum é vital para que o produto alcance o desempenho esperado. O levantamento de riscos deve ser documentado e ações de mitigação, ou eliminação devem ser estabelecidas dentro de um processo robusto. Para isso, métodos como FMEA podem contribuir para a solução de problemas de projeto ou processo.

O APQP é um suporte ao planejamento das atividades do PDP, tendo como objetivo garantir a qualidade do produto através da validação do produto e processo produtivo. Dessa forma, quando aplicado o APQP durante o processo de desenvolvimento, a empresa e os demais parceiros da cadeia de suprimentos, estão ciente que estão seguindo todos os processos de garantia da qualidade.

O APQP, serve como garantia de qualidade para todos os tipos de produtos utilizados na indústria automotiva, inclusive os provenientes de plataformas de produtos. O modelos de referência utilizados no PDP, ajuda a estruturar melhor a forma de trabalho das áreas de P&D. Quando se trata de produtos de plataformas, isso é mais importante, visto que muitos dos grupos trabalham afastados geograficamente.

Dessa forma, faz-se necessário também estabelecer formas de melhor trabalhar com a complexidade do processo e produtos. Para isso, abordagens como a Engenharia de Sistemas baseada em Modelos ajuda a concentrar as informações e criar um caminho lógico para configuração dos diversos sistemas dos produtos.

## 2.4 ENGENHARIA DE SISTEMAS BASEADA EM MODELOS

Os produtos estão se tornando cada vez mais complexos, combinando diferentes campos de conhecimento, como software, mecânica, elétrica e eletrônica. Dessa forma, a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE - *Model-based System Engineering*) é uma abordagem interdisciplinar para lidar com a complexidade durante o desenvolvimento de produtos (BOUGAIN; GERHARD, 2017). O MBSE, se concentra na captura de propriedades do produto e informações de engenharia, através de modelos, permitindo uma rastreabilidade de requisitos para componentes. Para Friedenthal, Griego, e Sampson (2008), a engenharia de sistemas baseada em modelos é a aplicação formalizada de modelagem para

suportar requisitos de sistema, projeto, análise, verificação e validação, começando na fase de projeto conceitual e continuando durante as fases de desenvolvimento e ciclo de vida posterior. Para que as informações, que são geradas durante as fases do processo de desenvolvimento de produto possam ser visualizadas de forma sistemática, modelos representativos são criados. A aplicação do MBSE, em projetos de produtos, incluindo daqueles derivados de plataformas, fornece vários benefícios para o time de projeto. Ajuda a melhorar a captura, análise, compartilhamento e gerenciamento das informações. Podemos citar ainda, a melhoria da comunicação entre os diferentes times de engenharia, como por exemplo, gerentes de projeto, engenheiros de componentes, manufatura, etc.

O MBSE, tem como um dos grandes benefícios auxiliar no gerenciamento de sistemas complexos, pois a criação de modelos fornece várias perspectivas de visualização desses sistemas, permitindo uma melhor análise e verificação de impactos de mudanças. A melhora da qualidade do produto a ser desenvolvido é percebida pelos consumidores, pois o MBSE fornece modelos precisos, que podem ser avaliados da forma mais correta possível. Em se tratando do PDP, o trabalho com modelos representativos de sistemas, faz com que a captura das informações sejam mais precisas. Dessa forma, o conhecimento dos diversos sistemas, bem como suas interfases, permite um maior aprendizado e conseqüentemente menor retrabalho ou alterações de produto.

Algumas terminologias são fundamentais para o entendimento da aplicação do MBSE. De acordo com Hart (2015), modelo é uma versão simplificada de um conceito, fenômeno, relacionamento, estrutura ou sistema. Pode ainda ser definida, como uma representação física, matemática ou gráfica de um sistema. O modelo tem como objetivo facilitar o entendimento, ajudar nas tomadas de decisão, examinando diversos cenários, além de explicar, controlar e prever eventos futuros. Algumas definições ainda se fazem necessárias, para diferenciar o conceito de modelo, processo, método, ferramenta e metodologia. De acordo com Martin (1996) temos:

- Processo: É uma sequência lógica de tarefas executadas para atingir um determinado objetivo. Um processo define “o que” deve ser feito, sem especificar “como” cada tarefa é executada. A estrutura de um processo fornece vários níveis de agregação, de forma a permitir que análises e definições sejam feitas

em vários níveis de detalhes, para diferentes necessidades de tomada de decisão.

- Método: Consiste em técnicas para executar uma tarefa, em outras palavras, define "como" uma tarefa deve ser executada. Em qualquer nível, as tarefas do processo são executadas usando métodos. No entanto, cada método é também um processo em si, com uma sequência de tarefas a serem executadas para um método específico.
- Ferramenta: É um instrumento que, quando aplicado a um método particular, pode aumentar a eficiência da tarefa; desde que seja aplicado corretamente e por alguém com habilidades e treinamento adequados. O objetivo de uma ferramenta deve ser facilitar o realização dos métodos.
- Metodologia: Pode ser definida como uma coleção de processos, métodos e ferramentas relacionados. Uma metodologia é essencialmente uma "receita" e pode ser pensada como a aplicação de processos, métodos e ferramentas relacionados a uma classe de problemas que têm algo em comum.

Dessa forma, o MBSE engloba as definições acima para a implantação de seus modelos de sistemas.

O MBSE, é uma abordagem possível para enfrentar os desafios do design modular (BURSAC; ALBERS; SCHMITT, 2016). Essa abordagem, permite desenvolver produtos modulares, bem como as próprias plataformas, usando modelos representativos de subsistemas complexos, como os encontrados em famílias de produtos derivados de plataformas.

Em se tratando de plataformas de produtos, a complexidade de configuração das plataformas pode aumentar consideravelmente, uma vez que vários produtos dividem os mesmos módulos. Desta forma, o MBSE auxilia no trabalho de configuração de plataformas, uma vez que transforma sistemas complexos em modelos representativos mais simples. Isso ajuda as equipes de desenvolvimento interdisciplinares, pois elas podem capturar e gerenciar de forma consistente e contínua os dados que são gerados durante o PDP.

Para realizar a atividade de representação de sistemas em modelos, algumas ferramentas estão disponíveis no mercado. Uma das mais usadas é o *Systems Modeling Language* (SysML). O SysML é uma linguagem de modelagem gráfica, com o propósito de especificar, analisar, projetar e verificar sistemas complexos que podem incluir hardware, software, informações, pessoal, procedimentos e



instalações. Em particular, a linguagem fornece representações gráficas com uma base semântica para modelagem de requisitos de sistema, comportamento, estrutura e parâmetros, que é usada para integrar com outros modelos de análise de engenharia (OMG Systems Modeling Language, 2018).

O SysML pode ser aplicado no desenvolvimento e configuração de plataformas de produtos, uma vez que permite adquirir informações mais precisas a respeito dos diferentes módulos de montagem. O maior desafio, em termos de desenvolvimento de produtos derivados de plataformas, está ligado a estratégia de oferta de produtos aos mercados. Isso irá impactar na configuração da plataforma de produtos e conseqüentemente na qualidade percebida pelo cliente. É importante, que as ferramentas de modelagem de sistemas sejam utilizadas durante o PDP, para minimizar os riscos de projeto de plataformas.

\*\*\*

O presente capítulo procurou mostrar os conceitos importantes para o desenvolvimento do trabalho. Os conceitos apresentados, ajudam a entender melhor o que leva ao problema de configuração ineficiente de plataformas de produtos e como encontrar formas de solução. A customização em massa leva a necessidade de se ofertar diferentes produtos aos mercados, não perdendo o foco em custo e economia de escala. Para isso, as plataformas de produtos são desenvolvidas para se facilitar a oferta de diversos produtos, de forma mais rápida e eficiente. Isso cria a necessidade de se configurar as plataformas de maneira mais precisa, que atendam as diversas aplicações de mercado e não gere insatisfação dos clientes. Os modelos de referência do PDP, ajudam a estruturar melhor a forma de trabalho dos diferentes grupos do P&D, usando a Engenharia de Sistemas como forma a trabalhar com a complexidade das informações e sistemas. Assim, os conceitos apresentados, levam ao desenvolvimento de uma solução mais eficiente do problema levantado na introdução desse trabalho.

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo, é detalhada a caracterização da pesquisa, onde o enquadramento da definição da presente pesquisa é mostrado. Na sequência, é descrito o procedimento metodológico utilizado no trabalho.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa, pode ser caracterizada, como uma pesquisa de abordagem prescritiva (BONAT, 2009). Ela se enquadra nessa abordagem, pois irá utilizar do conhecimento adquirido para a proposição de uma solução para o problema apresentado. Para isso, vai desenvolver e entregar um artefato para a solução do problema, que para essa pesquisa será um método para configuração de plataformas de produtos.

#### 3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

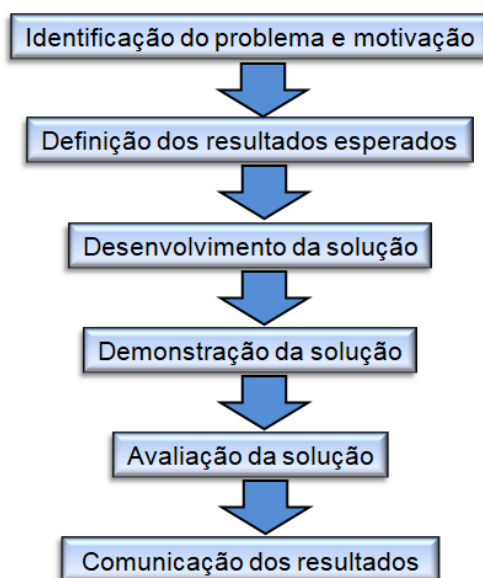
O presente trabalho de pesquisa seguiu os procedimentos metodológicos descritos de acordo com o *framework* metodológico *Design Science Research* (DSR). Essa abordagem foi inicialmente introduzida por Peffers et al. (2007), onde os autores estabelecem um processo metodológico, baseado em desenvolvimento de artefatos para resolução de problemas de pesquisa. De acordo com os autores, o DSR é um *framework* que possibilita a criação e o desenvolvimento de artefatos para solucionar problemas organizacionais. Para Aken (2004), a missão principal da DSR é desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefatos. Os autores Vaishnavi e Kuechler (2009), descrevem a DSR como um conjunto de técnicas e perspectivas sintéticas e analíticas para a realização de pesquisas. Ainda, de acordo com os autores, os artefatos criados no processo de pesquisa na DSR incluem mas não estão limitados a algoritmos, interfaces homem/computador e metodologias ou linguagens de projeto de sistemas.

No artigo de March e Smith (1995), os autores fazem um contraste entre a DSR e pesquisas em ciências naturais, onde propõem quatro formas de artefatos para a DSR: construções, modelos, métodos e instanciações.

- Construções: Correspondem aos vocabulários e termos utilizados para descrever a respeito das tarefas;
- Modelos: São representações da realidade de determinado sistema;
- Métodos: Descrevem como determinada tarefa deve ser executada;
- Instanciações: São os protótipos que servem para verificar a viabilidade de modelos e métodos.

O DSR é composto por 6 etapas e de acordo com Peffers et al. (2007) são: (i) identificação do problema e motivação; (ii) definição dos resultados esperados; (iii) desenvolvimento da solução; (iv) demonstração da solução; (v) avaliação da solução; (vi) comunicação dos resultados. A figura 7, mostra as seis etapas que compõem o DSR.

**Figura 7 - Fases do DSR**



**Fonte:** Adaptado de Peffers et al. (2007)

A seguir, serão detalhadas as atividades de cada uma das etapas do DSR.

### 3.2.1 Identificação do problema e motivação

A identificação do problema partiu da experiência profissional do pesquisador na área de desenvolvimento de produtos. Através de conversas e experiências

trocadas com outros profissionais da área, viu-se a necessidade de se aprofundar o conhecimento do desempenho da plataforma de produtos em diferentes aplicações.

A partir desse ponto foi realizado um estudo bibliométrico e uma análise sistêmica, onde o tema da pesquisa foi fundamentada em um levantamento do estado da arte. Dessa forma, a primeira fase de identificação do problema e motivação foi cumprida através do levantamento dos assuntos abordados na literatura. Foi identificado que existe uma lacuna em comum no que diz respeito ao desenvolvimento de plataformas de produtos para a indústria automotiva. Sendo assim, podemos caracterizar essa lacuna como um problema de configuração ineficiente de plataformas de produtos. Diante dessa constatação, tornou-se evidente a oportunidade de se desenvolver um trabalho, voltado a solucionar o problema de desenvolvimento de plataformas e configuração de famílias de produtos, considerando diferentes mercados e aplicações.

### 3.2.2 Definição dos resultados esperados

Nessa fase, buscou-se alinhar os objetivos específicos aos resultados esperados. Através da revisão da literatura, identificou-se que a saída para a solução do problema seria um artefato, que no caso proposto é um método. O método desenvolvido, que serve como um processo de apoio dentro do PDP, será capaz de auxiliar o time de projeto na escolha dos módulos a serem utilizados na família de produtos. Através de uma base de dados, que é gerada pelas oficinas de assistência técnica, é possível identificar as aplicações que mais impactam no desempenho dos componentes.

Como resultado da aplicação do método, teremos uma maior eficiência do time de projeto na configuração de família de produtos, além de uma economia de custo e tempo de desenvolvimento e como consequência um melhor desempenho dos produtos ofertados.

### 3.2.3 Desenvolvimento da solução

Nessa fase o método foi propriamente desenvolvido. Para o desenvolvimento do método, alguns passos foram seguidos de forma a se chegar em um método robusto e capaz de atingir os objetivos previamente estabelecidos.

No primeiro passo, buscou-se identificar de qual forma as informações das diferentes aplicações das plataformas de produtos eram levantadas. Através de entrevistas com profissionais da empresa parceira, foi constatado que não há uma forma explícita de se correlacionar diferentes aplicações com o desempenho da plataforma de produtos. Essa informação depende muitas vezes do conhecimento dos profissionais das áreas de pós-vendas, que possuem um contato mais próximo com os clientes. As informações, bem como a forma na qual são divulgadas dentro do time de engenharia, esbarravam no conhecimento técnico de cada profissional. Sendo assim, foi preciso encontrar uma base de dados padronizada que auxiliasse no levantamento dessas informações.

Após algumas pesquisas e trocas de informações dentro da área de engenharia de desenvolvimento do produtos, encontrou-se uma base de dados que poderia ser utilizada. O objetivo é poder extrair informações a respeito das aplicações nas quais a família de produtos é submetida em campo. A base de dados em questão, é gerada pelas oficinas autorizadas a realizarem serviços de reparo nos produtos da empresa parceira. Essas oficinas geram informações diárias, através de relatórios de serviços prestados aos clientes.

O segundo passo, foi entender o que a base de dados possuía de informações. A partir desse ponto, estudou-se a forma de se correlacionar as informações geradas em campo com a pergunta de pesquisa. Para isso, foi escolhido trabalhar com uma ferramenta de análise de dados. Alguns softwares de análise de dados foram pesquisados e o que mais se destacou como uma boa opção de uso foi o *Tableau*. A escolha desse software se deu por ser gratuito e de fácil uso.

O terceiro passo foi escrever o método em forma de rascunho, sem se preocupar com normativas de notação. Como o método diz respeito a um procedimento (passo a passo), cada uma das atividades foi cuidadosamente descrita para se chegar a uma saída que cumprisse com o objetivo geral. Nessa etapa, vários ajustes foram feitos buscando-se desenvolver um método que fizesse sentido dentro do contexto da pesquisa. Os ajustes estavam relacionados objetividade na escrita e definição de cada tarefa, bem como atender aos critérios de avaliação que posteriormente serão mostrados.

No passo seguinte, foi realizado um teste preliminar de aplicação do método, para entender se existiam lacunas de informação e conteúdo. Após algumas

rodadas de correções e ajustes, chegou-se a uma forma final para o método proposto. Porém, foi necessário encontrar uma notação padrão para a escrita do método. Dessa forma, optou-se pelo uso do modelo BPMN (*Business Process Model and Notation*). Por ser um modelo altamente difundido na literatura, foi entendido que a representação do método seguindo esse modelo seria melhor assimilada, tanto na indústria quanto na academia.

Por fim, para que o método fosse reescrito seguindo o modelo BPMN, era necessário escolher um software adequado. Depois de algumas buscas na literatura e trocas de informações, optou-se por usar o programa *Camunda Modeler*. Da mesma forma, esse programa despontou como uma boa opção pelo fato de ser um programa livre e de fácil utilização.

Sendo assim, ao final da presente fase do DSR, foi desenvolvido o método para posterior demonstração.

#### 3.2.4 Demonstração da solução

Essa fase teve como objetivo fazer o uso demonstrativo da solução em um ambiente industrial. Para tal, foi realizado um *workshop* para a demonstração do novo método em uma empresa automotiva da região de Curitiba. Para a realização da demonstração, foi escolhido um grupo de funcionários. O grupo foi composto por engenheiros de produto e um gerente de projetos, onde no total contemplou 9 pessoas. Assim, o método pode ser apresentado em um ambiente correlacionado com o seu propósito.

Durante a atividade de demonstração perante o grupo, foi escolhido um caso real de aplicação. O uso do caso real, que será mostrado detalhadamente no próximo capítulo, teve como propósito mostrar ao grupo selecionado o funcionamento do método, dentro do contexto de trabalho de cada participante do *workshop*. Dessa forma, foi escolhido um módulo pertencente a uma plataforma desenvolvida pela empresa parceira. O módulo escolhido corresponde ao para lamas traseiro de um veículo de transporte.

Para a demonstração da solução, foi desenvolvido um material no programa Microsoft PowerPoint. Nesse material, foi dada uma introdução a respeito do trabalho de pesquisa, mostrando o contexto no qual a presente pesquisa se enquadra e a motivação. Após essa breve introdução, o método foi apresentado seguindo a

notação BPMN. A apresentação consistiu em descrever cada uma das tarefas dentro do procedimento proposto, mostrando cada etapa do método de forma detalhada.

Após a apresentação do método, iniciou-se a demonstração usando um cenário de aplicação do artefato. Como dito, foi usado um módulo já em uso em uma determinada plataforma de produtos da empresa. Durante a etapa de demonstração dentro de um cenário de aplicação, os participantes tiveram a oportunidade de conhecer como o método se aplica na prática dentro do contexto de um grupo de desenvolvimento de produtos.

No final da etapa de demonstração, os participantes puderam tirar dúvidas e levantar questionamentos a respeito do uso do método. O workshop durou 1 hora e atendeu as expectativas do pesquisador. Isso porque, houve várias trocas de informações durante o tempo de duração da apresentação.

Assim, a próxima etapa, que diz respeito a avaliação pode ser iniciada.

### 3.2.5 Avaliação da solução

Nessa fase, os participantes do grupo puderam avaliar o método apresentado na fase anterior. O propósito dessa fase é verificar, de acordo com os participantes, se a solução proposta pelo método funciona adequadamente para o problema de pesquisa identificado. Dessa forma, buscou-se verificar o grau de aceitação do método segundo os seguintes critérios: operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso.

A avaliação do método foi feita através de um formulário contendo perguntas que abrangeram os critérios apresentados. Após a apresentação do método, bem como da demonstração prática, foi solicitado aos participantes avaliarem o método através de um questionário criado no Google Forms. Primeiramente, foi mostrado ao grupo o objetivo da avaliação, focando em apresentar as perguntas e o propósito de cada uma delas, segundo os critérios de avaliação. Após a apresentação e explicações referentes ao questionário, foi dado um prazo de 2 semanas para os participantes responderem o questionário de avaliação.

### 3.2.6 Comunicação dos resultados

A fase de comunicação visa divulgar no meio industrial e acadêmico o conhecimento produzido pelo presente trabalho de pesquisa. A divulgação no meio industrial, aconteceu através da empresa parceira, onde um workshop foi realizado dentro do grupo de desenvolvimento de produtos. As utilidades atribuídas pelo uso do método, bem como as suas limitações, oportunidades futuras de melhorias e o conhecimento adquirido ao longo deste trabalho foi mostrado ao grupo de funcionários.

No meio acadêmico, a divulgação se dará através da publicação de um artigo em uma revista científica, bem como por meio da dissertação de mestrado aqui desenvolvida.

Esse capítulo teve como objetivo detalhar a metodologia utilizada no trabalho de pesquisa. No próximo capítulo, serão mostrados os resultados encontrados e em seguida uma discussão dos pontos mais relevantes.



## 4 RESULTADOS

Nesse capítulo, serão apresentados os resultados da presente pesquisa. De acordo com o procedimento metodológico apresentado no capítulo anterior, será apresentado em detalhes o método desenvolvido, seguido por uma demonstração a partir de um caso real de aplicação e por fim a avaliação do método.

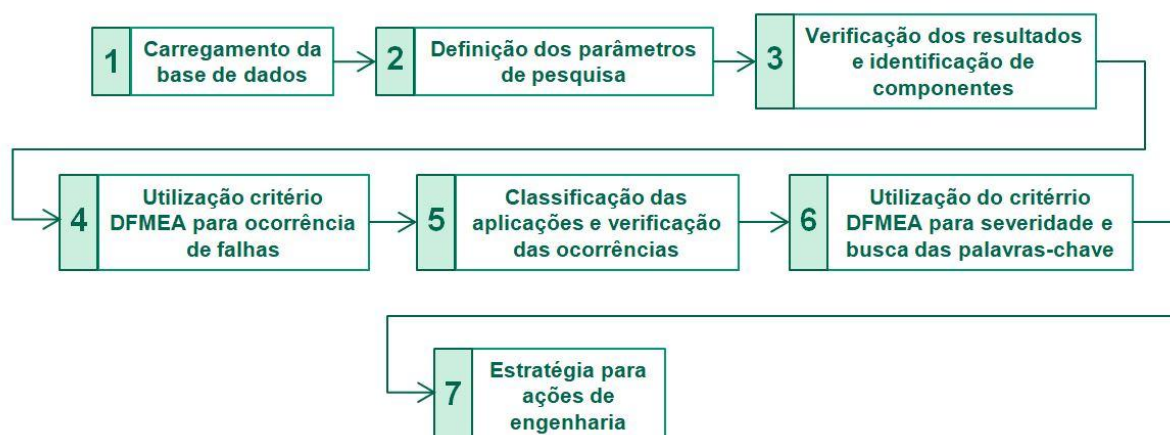
### 4.1 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO

No escopo da presente pesquisa, há o desenvolvimento de um artefato. Como objetivo, o artefato desenvolvido visa servir como um processo de apoio dentro do PDP para a configuração de plataformas de produtos. O método em questão é um conjunto de passos, destinado a suportar a engenharia de desenvolvimento de produtos no diagnóstico da escolha de módulos de componentes para as plataformas de produtos. A escolha dos módulos deve levar em conta as aplicações nas quais as variantes de produtos são submetidas. Sendo assim, o método foi denominado: MPCDATA - *Method for Platform Configuration Using Data Analysis*.

O método desenvolvido faz uso de uma base de dados de informações de reclamação de campo. Essa base de dados é fornecida pelas oficinas autorizadas a prestarem serviços de reparo. Uma vez que a base de dados seja fornecida ao time de engenharia de desenvolvimento de produtos, é feita uma análise de dados para se extrair as informações que são relevantes ao fim do método.

Todo o processo é mostrado na sequência pela figura 9. O método foi separado em 7 passos para ajudar o seu entendimento. Foi utilizada a notação BPMN para a representação do método. Essa notação, segue um padrão de representação que auxilia na compreensão da sequência das atividades.

**Figura 8 -** Sete passos do método desenvolvido

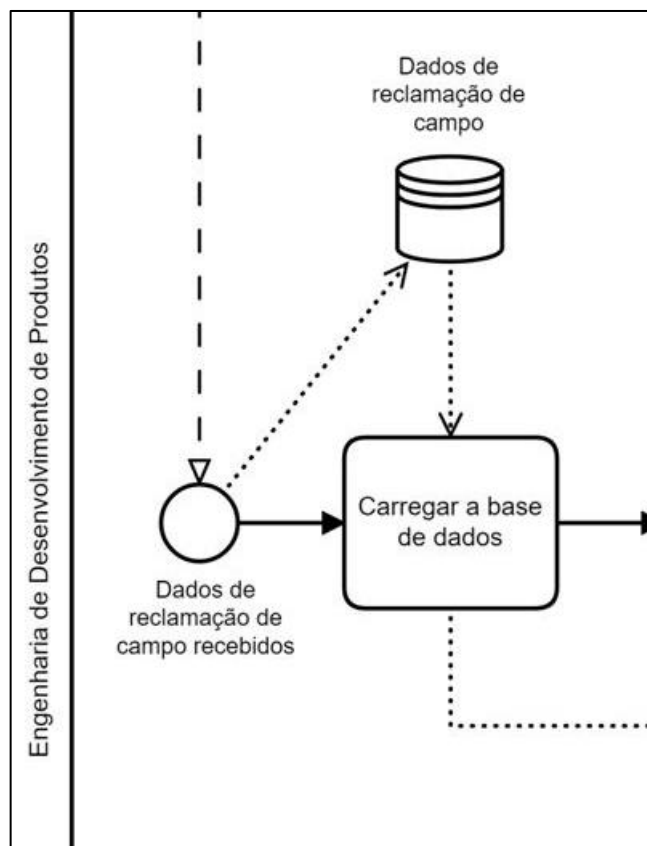


**Fonte:** O próprio autor

A seguir cada um dos 7 passos é descrito em detalhes. Uma explicação de cada uma das atividades presentes no método é apresentada. Nos próximos tópicos, uma figura de cada um dos passos é extraída da representação BPMN e o método completo é apresentado no apêndice ao final do texto, após as referências bibliográficas.

#### 4.1.1 Passo 1 - Carregamento da base de dados

Como mostrado na figura 10, o primeiro passo consiste em acessar a base de dados, representado pela atividade Carregar a base de dados. Como dito anteriormente, a base de dados é gerada pela assistência técnica autorizada da empresa que projetou e fabricou o produto. A base de dados pode ter diversas denominações, para o presente trabalho optou-se por utilizar a mesma denominação da base de dados da empresa parceira, no caso Dados de reclamação de campo. A grande maioria das indústrias de produtos duráveis, possuem redes autorizadas a prestarem serviços de reparo. Uma vez que um componente, pertencente a uma variante de produto apresenta defeito, o cliente vai até uma assistência técnica para realizar um reparo. Durante a execução do reparo, uma ordem de serviço é aberta, onde todos os dados referentes ao produto e a falha são registrados. A figura 11 representa esse processo.

**Figura 9** - Primeiro passo do método desenvolvido

**Fonte:** O próprio autor

O registro aberto pela oficina autorizada, serve para que a empresa possa ter um controle mais apropriado das intervenções realizadas em seus produtos. Quando os produtos desenvolvidos por uma indústria são oriundos de uma plataforma de produtos, esse controle se torna mais necessário. Isso ocorre pelo fato de uma mesma plataforma ser utilizada em diversos mercados. Dessa forma, os mesmos componentes são submetidos a diferentes condições de aplicação. Como dito no capítulo anterior, o conhecimento a respeito do desempenho da plataforma de produtos nas diversas aplicações de uso é fundamental para se poder diagnosticar o quão eficiente a plataforma é nos diversos mercados.



independente do ramo de produtos, a empresa tenha capacidade de gerar dados confiáveis. Uma vez os dados estejam disponíveis, é preciso trabalhar em extrair as informações necessárias para realizar as análises de seus produtos.

O quadro 2 mostra um exemplo de base de dados geradas em serviços de reparo. Vale lembrar que a base de dados é gerada pelas oficinas autorizadas a realizar reparos, e o departamento de engenharia de desenvolvimento de produtos da empresa fabricante deve ser capaz de acessá-la. Podemos observar que no exemplo apresentado no quadro 2, a forma no qual as informações chegam ao departamento de engenharia de desenvolvimento de produtos é através de um arquivo Excel. Assim, o arquivo gerado vem na sua forma bruta, sem nenhum tratamento de dados. Cada linha representa uma ordem de serviço de reparo, ou intervenção no produto e as colunas representam um campo de informação relevante ao serviço prestado.

**Quadro 2** - Exemplo de base de dados de reclamação em campo

COM FIELD1	COM FIELD2	COM FIELD3	REP DATE	REP CNTRY	ENGINE HP
COMPLAINT:NR	CAUSE:	CORRECTION:	19/04/2017	BRA	270
COMPLAINT:SUI	CAUSE:	CORRECTION:	22/04/2016	BRA	270
COMPLAINT:SEC	CAUSE:	CORRECTION:	23/09/2015	BRA	220
COMPLAINT:R: E	CAUSE:	CORRECTION:	14/06/2016	BRA	220
COMPLAINT:DA	CAUSE:	CORRECTION:	21/12/2015	BRA	330
COMPLAINT:R: (	CAUSE:	CORRECTION:	27/06/2016	BRA	330
COMPLAINT:R:C	CAUSE:	CORRECTION:	23/09/2016	BRA	270
COMPLAINT:N°	CAUSE:C: AO VE	CORRECTION:C:	10/01/2017	BRA	270
COMPLAINT:R:C	CAUSE:	CORRECTION:	27/07/2018	BRA	270
COMPLAINT:OS	CAUSE:	CORRECTION:	28/10/2016	BRA	330
COMPLAINT:R: (	CAUSE:	CORRECTION:	09/03/2016	BRA	330
COMPLAINT:N°	CAUSE:	CORRECTION:	24/04/2017	BRA	270
COMPLAINT:R:C	CAUSE:	CORRECTION:	30/11/2015	BRA	330
COMPLAINT:SEC	CAUSE:	CORRECTION:	04/02/2016	BRA	220
COMPLAINT:SEC	CAUSE:	CORRECTION:	20/12/2016	BRA	330
COMPLAINT:GA	CAUSE:C-VERIFI	CORRECTION:C:S	16/03/2018	BRA	270
COMPLAINT:R: (	CAUSE:C: FAROL	CORRECTION:C:	28/05/2016	BRA	220
COMPLAINT:ÄSE	CAUSE:	CORRECTION:	27/07/2015	BRA	220
COMPLAINT:R: E	CAUSE:	CORRECTION:	22/01/2016	BRA	330

**Fonte:** O próprio autor

Ao fim do primeiro passo, teremos a base de dados carregada e já disponível a engenharia de produtos. No passo 1 do método proposto, não é especificado uma forma de geração de dados e nem como eles devem ser disponibilizados a

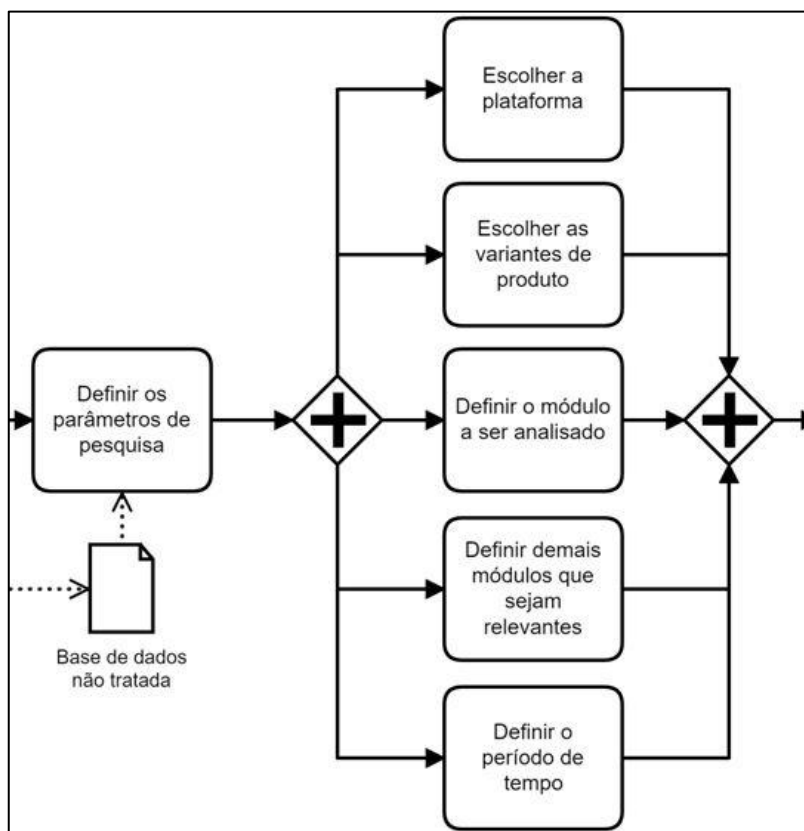
engenharia de produtos. O importante é que se tenha uma base de dados de reclamação de campo confiável. Também deve ser levado em consideração a acessibilidade para essa base de dados, a mesma deve ser de fácil acesso aos engenheiros de produtos. Isso irá garantir uma maior independência do utilizador do método dentro do PDP.

#### 4.1.2 Passo 2 - Definição dos parâmetros de pesquisa

Uma vez a base de dados sendo acessada pela engenharia de produtos, é hora de definir os parâmetros de pesquisa que são relevantes para o utilizador do método. A primeira atividade do passo 2, como mostrado na figura 12, trata justamente de iniciar o trabalho de análise de dados, denominada *Definir os parâmetros de pesquisa*. Para isso, é importante definir quais os filtros a serem aplicados na base de dados. Os filtros irão ajudar a direcionar a pesquisa dos componentes que apresentam falhas. Para se iniciar a análise de dados, é importante se escolher um software de análise de dados apropriado. A escolha de um bom software, irá facilitar o engenheiro na tarefa de analisar os dados. Existem diversos programas disponíveis no mercado, tanto programas pagos ou de uso livre. O método proposto aqui não direciona o uso de nenhum software em particular, ficando a cargo do usuário do método escolher um software apropriado para a função.

O importante nessa etapa do método é que se tenha uma ideia do que se deseja analisar. Lembrando mais uma vez, o objetivo é poder verificar se a plataforma de produtos foi configurada de maneira eficiente para as diferentes condições de aplicação. Uma vez tendo o objetivo principal bem definido, é importante que quando se defina os parâmetros de pesquisa, os resultados extraídos estejam alinhados com o objetivo descrito acima.

**Figura 11** - Exemplo de base de dados de reclamação em campo



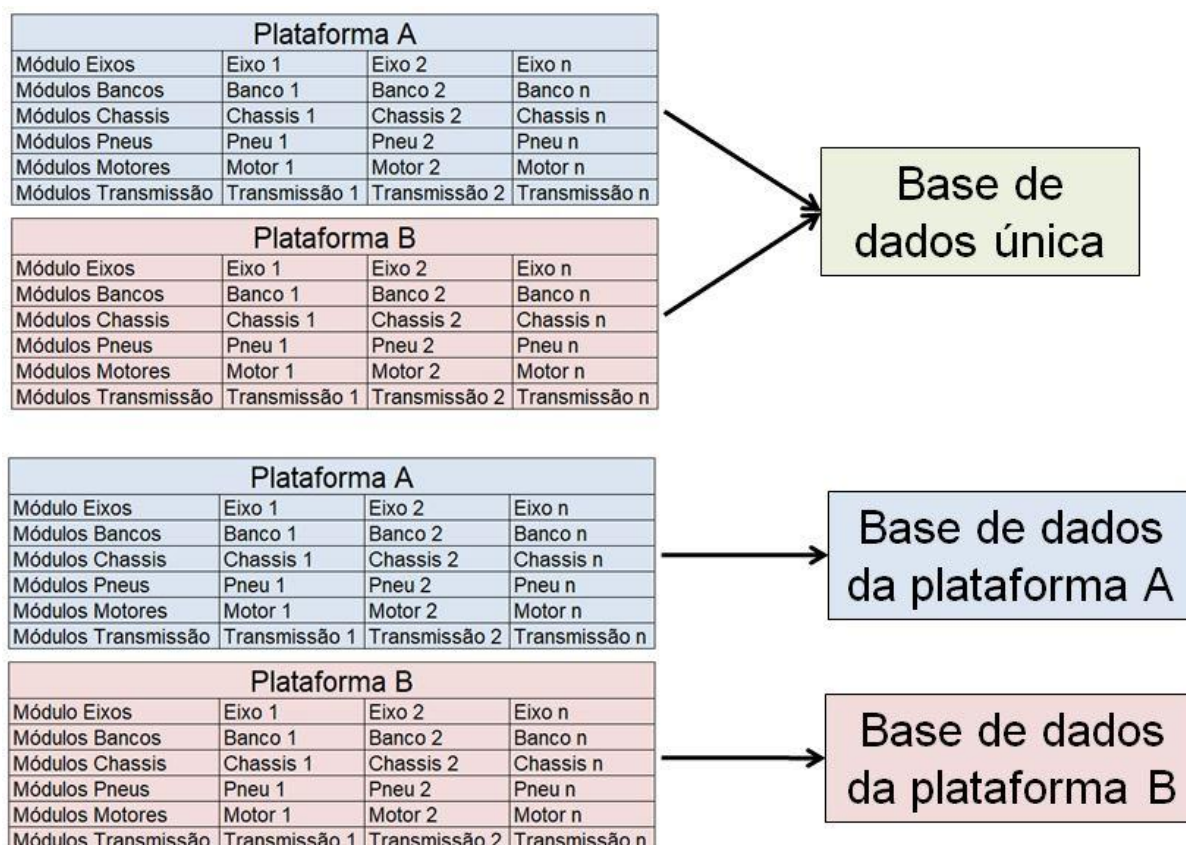
**Fonte:** O próprio autor

Sendo assim, o método parte para uma sequência de atividades em paralelo onde basicamente o usuário precisa definir alguns filtros de pesquisa. Iniciando pela atividade *Escolher a plataforma*, o usuário precisa definir de qual plataforma ele deseja realizar a análise de dados. A grande maioria das indústrias, e principalmente as automotivas, possuem mais de uma plataforma de produtos em seu portfólio. É comum que essas empresas desenvolvam plataformas diferentes, para diferentes segmentação de mercado. Como mostrado no capítulo 2, é uma definição estratégica da empresa, porém para o uso do presente método é suficiente que se tenha uma família de produtos proveniente de pelo menos uma plataforma.

Dessa forma, a maneira na qual a base de dados é gerada pode variar entre empresas, como mostra a figura 13. Algumas empresas geram uma base de dados única, para todas as plataformas. Nesse caso, em uma mesma base de dados estarão disponíveis os dados de falhas em campo para todas as famílias de produtos, considerando todas as plataformas que a empresa utiliza. Dessa forma, a aplicação do filtro por plataforma de produtos se faz necessário. Em outras

empresas, pode ser gerada uma base de dados para cada plataforma de produtos separadas. Assim, a escolha da plataforma não se faz necessária, pois a base de dados já é focada em apenas uma plataforma.

**Figura 12** - Diferentes formas de gerar a base de dados por plataforma



**Fonte:** O próprio autor

O próximo filtro a ser definido diz respeito as variantes de produtos, mostrado na atividade *Escolher as variantes de produtos*. Nessa etapa, é onde o usuário escolhe as variantes de produtos, dentro da família de produtos que ele deseja analisar. Caso não se tenha uma única variante específica, o usuário pode selecionar todas disponíveis, como no exemplo do quadro 3. Algumas bases de dados podem ser muito grandes, e o filtro por variantes de produtos ajuda o usuário a diminuir a quantidade de informações geradas, caso seja uma opção.

O filtro aplicado nas variantes de produtos, pode esconder algumas informações importantes. Isso ocorre porque alguns produtos são desenvolvidos para aplicações específicas, e quando se subtrai uma variante de produtos da



pesquisa algumas aplicações podem não ser contempladas no resultado final. Cabe ao usuário, no caso o engenheiro de desenvolvimento de produtos, saber se a remoção de alguma variante de produtos da pesquisa irá mascarar o resultado final.

O ideal dentro do método proposto, é que se escolha todas as variantes de produtos da plataforma. Isso irá garantir que nenhuma informação relevante deixará de ser considerada.

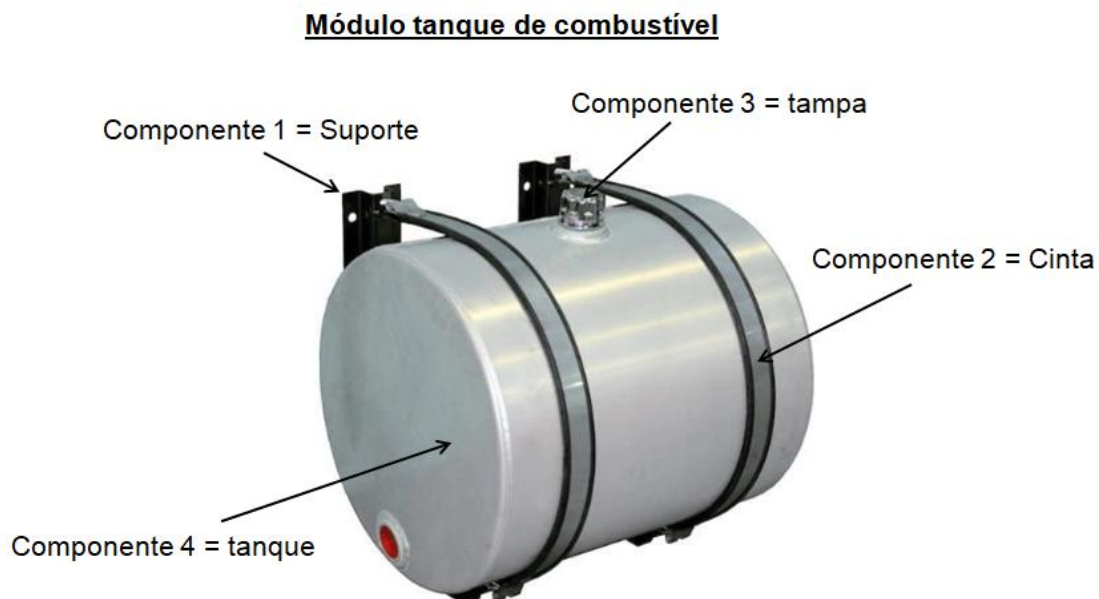
**Quadro 3** - Diferentes variantes de produtos na análise de dados

Veh Mrk Type
FH13A42T
FH13A62T
FH13A64T
FH13A82T
FM13A42T
FM13A62T
FM13A64T

**Fonte:** O próprio autor

Seguindo o passo 2, temos a atividade Definir o módulo a ser analisado. Nessa etapa, o módulo pertencente a plataforma de produtos é selecionado. Aqui vale uma consideração, na indústria em geral um módulo pertencente a uma plataforma de produtos pode ser um conjunto de componentes, como mostrado na figura 14. Esses módulos possuem uma única interface com outros componentes da plataforma. Porém, nessa etapa o filtro pode ser aplicado a um componente isolado com uma interface em comum com a plataforma. Assim sendo, nessa etapa podemos escolher um módulo que é composto de vários componentes ou um único componente que pode formar um módulo. O importante é que o usuário saiba o que lhe interessa como objeto de estudo. Em uma base de dados de reclamação de campo, vários componentes poderão aparecer listados com informações de serviços de reparo. O usuário do método precisa ter conhecimento de produto para saber quais módulos ou componentes são o objeto de análise.

**Figura 13** - Módulo de plataforma com vários componentes



**Fonte:** O próprio autor

Mais uma vez, a forma como a base de dados é gerada pode variar entre empresas. Isso irá resultar em um maior trabalho ou não na escolha dos módulos a serem analisados. Durante a geração da base de dados das oficinas autorizadas, pode ser que já se tenha uma base de dados gerada para cada módulo. Isso pode facilitar o trabalho do usuário no sentido de carregar apenas a base de dados do módulo que interessa na análise. Por outro lado, pode-se gerar uma base única para todos os módulos da plataforma, cabendo ao usuário encontrar a melhor forma de fazer a separação dos componentes por módulo.

Como mencionado anteriormente, um bom programa de análise de dados irá facilitar o trabalho de filtragem dos componentes. O quadro 4 mostra um exemplo de base de dados de componentes, já filtrados por módulo. Nesse caso, é mostrado componentes do para lamas, que é o módulo utilizado na demonstração do método que será apresentado no próximo tópico.

**Quadro 4** - Exemplo de uma base de dados filtrada por módulo

Part Name
ABSORBER_RUBBER
ANCHORAGE_CLAMP
ANCHORAGE_MUDGUARD
BRACKET_SLIDABLE
CAP_FRONT FENDER
FENDER_ASSY_RFEND-B
FENDER_ASSY_TOP LOW
FENDER_ASSY_RFEND-B
FENDER_RFEND-B
FENDER_RFEND-B_RSS-LEAF_LF-RR
FENDER_TOP LOW
MUDFLAP_220
RUBBER CUSHION
RUBBER STRAP
STAY_LHS_L650
STAY_RHS_L650
TUBE_WITH RUBBER L657

**Fonte:** O próprio autor

A próxima atividade é Definir demais módulos que sejam relevantes. Essa etapa, tem como objetivo dar ao usuário a liberdade de escolher outros módulos ou componentes, que considere relevantes para o entendimento das falhas. Além disso, a seleção de componentes de outros módulos poderá ajudar na caracterização das aplicações da plataforma de produtos, como será explicado com maiores detalhes na passo 5 do método.

O usuário deve filtrar dentro da base de dados os componentes que não façam parte do módulo que é objeto de estudo, mas que de alguma forma suporte ou auxilie nas conclusões a respeito do diagnóstico da eficiência da configuração da plataforma de produtos. Essa atividade é importante, pois em muitos casos uma falha em um componente pode estar conectada a uma falha prematura em outro. Com isso, pode-se fazer uma correlação entre modos de falhas para diferentes módulos. Um exemplo pode ser visto no quadro 5, onde são mostrados na primeira coluna os componentes de um módulo que são objeto de estudo e na segunda coluna estão as variantes de outro módulo. O objetivo é encontrar, dentro da quantidade de falhas ocorridas nos componentes do módulo de interesse, alguma correlação entre os dois módulos.

**Quadro 5** - Exemplo de correlação entre módulos

Part Name	Rear Spri..	Veh Mrk Type					
		FH13A62T	FH13A64T	FH13A82T	FM13A42T	FM13A62T	FM13A64T
ABSORBER_ RUBBER	RSS-AIR		Abc				
	RSS-LEAF		Abc				Abc
ANCHORAGE_ STAY_ MUDGUARD_ LHS	RSS-LEAF				Abc		
ANCHORAGE_ STAY_ MUDGUARD_ RHS	RSS-LEAF				Abc		
BRACKET_ SLIDABLE	RSS-AIR	Abc					
	RSS-LEAF	Abc	Abc				
CAP_ FRONT FENDER	RSS-LEAF		Abc				
CAP_ REAR FENDER	RSS-AIR	Abc					
MUDFLAP_ 315	RSS-AIR	Abc	Abc	Abc			
	RSS-LEAF	Abc	Abc				Abc

**Fonte:** O próprio autor

A última atividade do passo 2 diz respeito a Definir o período de tempo. Nessa atividade, o usuário precisa escolher o período de tempo de interesse para filtrar os dados. As bases de dados são geradas constantemente através do tempo, ficando a critério do engenheiro de desenvolvimento de produtos escolher em qual período de tempo os dados devem ser analisados.

É importante que essa escolha seja realizada seguindo os objetivos da pesquisa. O engenheiro deve levar em conta quando determinada plataforma de produtos entrou em operação, ou quando que uma nova modificação ou atualização dos módulos ocorreram. Isso é importante na hora de se analisar os dados, pois todas as ações posteriores irão resultar dos resultados extraídos dentro do período de tempo escolhido pelo usuário. Análises de dados realizadas posteriormente a uma ação de engenharia, poderão comprovar ou não a eficiência da ação tomada, desde que seja escolhido corretamente o período de tempo. O quadro 6 a e b, apresenta um exemplo de uma análise de dados realizada em dois períodos de tempo diferentes. Na figura podemos ver a quantidade de falhas no período, para os dois diferentes anos, representada pela escala dos quadrados em azul. Podemos verificar, que entre os dois diferentes anos aconteceram mudanças na quantidade de falhas reportadas por variante de produtos.

**Quadro 6** - Exemplo de análise de dados em diferentes anos de registros

Part Name	Variante De Produto					
	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D	Variante E	Variante F
ABSORBER_RUBBER		.				■
ANCHORAGE_STAY_MUDGUARD_LHS				.		
ANCHORAGE_STAY_MUDGUARD_RHS				.		
BRACKET_SLIDABLE	.	.				
CAP_FRONT FENDER		.				
CAP_REAR FENDER	.					
MUDFLAP_315	■	■	.		.	

**Quadro 6a** - Ano "1"

Part Name	Variante De Produto		
	Variante A	Variante B	Variante G
ABSORBER_RUBBER		■	■
ANCHORAGE_CLAMP			.
ANCHORAGE_MUDGUARD		.	.
BRACKET_SLIDABLE	■	■	■
CAP_FRONT FENDER	.	.	
MUDFLAP_220	.	.	
RUBBER STRAP		.	
STAY_RHS_L650	.		

**Quadro 6b** - Ano "2"

**Fonte:** O próprio autor

Após a aplicação de todos os filtros de pesquisa, o próximo passo se inicia com a verificação do resultado de pesquisa na base de dados.

#### 4.1.3 Passo 3 - Verificação dos resultados e identificação de componentes

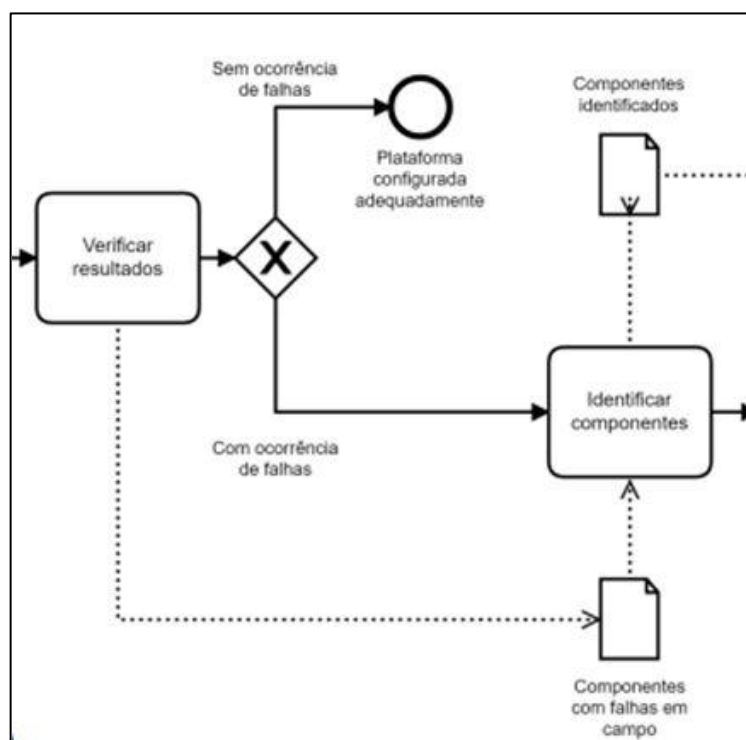
Uma vez que a base de dados de reclamação em campo foi carregada em um software de análise de dados e após a aplicação dos filtros de pesquisa, é iniciado o passo 3 com a atividade de *Verificar resultados*. Essa é uma etapa dentro do método onde o usuário precisa verificar se diante de todos os filtros aplicados, aconteceram ocorrências de falhas para algum componente.

Essa é uma atividade muito importante, pois é a partir dela que iremos identificar quantos componentes de um módulo falharam, e qual a ocorrência ou quantidade de falhas para cada componente da plataforma. Conforme mostrado na figura 15, após a atividade de verificação dos resultados duas opções se mostram possíveis. A primeira opção, é que nenhum componente do módulo que é objeto de estudo apresente registro de falhas dentro da base de dados. Dessa forma, seguindo a opção *sem ocorrência de falhas*, pode-se concluir que a

plataforma está configurada corretamente. Isso porque, uma vez que os registros de falhas foram gerados de maneira correta, e que os filtros de pesquisa aplicados no passo 2 também obedeceram os critérios previamente mostrados, conclui-se que a plataforma atende de maneira eficiente todas as aplicações nas quais é submetida.

Relembrando mais uma vez o objetivo inicial do presente trabalho, o método seguindo a primeira opção, consegue atender o objetivo de auxiliar o PDP na configuração de plataformas de produtos. Essa conclusão se mostra viável, pois foi capaz de identificar dentro de uma base de dados de registros de reclamação em campo, que não há problemas de configuração da família de produtos. Isso porque, não foram encontrados registros de falhas após a análise dos dados disponibilizados pelas oficinas autorizadas de serviço.

**Figura 14** - Passo 3 do método proposto



**Fonte:** O próprio autor

Caso apareça algum componente com ocorrência de falhas, o método segue a opção 2. Nessa opção, mostrada através do da seta representada por *Com ocorrência de falhas*, há pelo menos um registro de falhas para algum componente. Dessa forma, a saída da atividade verificar resultados é uma lista com

componentes com falhas em campo. Essa lista, serve como dados de entrada para a próxima atividade, denominada *Identificar componentes*.

Durante essa atividade, os componentes são identificados através de uma tabela criada pelo programa de análise de dados. Nessa tabela, é possível identificar quais componentes falharam dentro do módulo de interesse, bem como quantas vezes a mesma falha se repetiu durante o período de tempo pesquisado. O quadro 7, mostra um exemplo de componentes identificados com as respectivas quantidades de ocorrências de falhas representados pelas figuras geométricas na cor azul.

**Quadro 7** - Identificação de componentes e ocorrências de falhas

Componente	Ocorrências
CABLE TIE	.
CABLE TIE_ 45	.
CABLE TIE_ 85	.
CABLE TIE_ 100	.
CLAMP	.
CLAMP_ 13	.
CLAMP_ 18	.
CLAMP_ 19	.
CLAMP_ 22	.
CLAMP_ OFFSET 102	.
HEX. SOCKET SCREW_ M10*100	■
HEX. SOCKET SCREW_ M12*80	■
HOSE CLAMP_ 25-25	.
HOSE CLAMP_ 35-35	.
HOSE CLAMP_ 45-45	.
HOSE CLAMP_ 146	.
HOSE_ 4*1.5	.
HOSE_ 4*2	.
HOSE_ 5.2*2	.
HOSE_ 6.3*4*1	.
HOSE_ 10*2	.
HOSE_ 12.7*2	.
SPACER_ ASSY	.

**Fonte:** O próprio autor

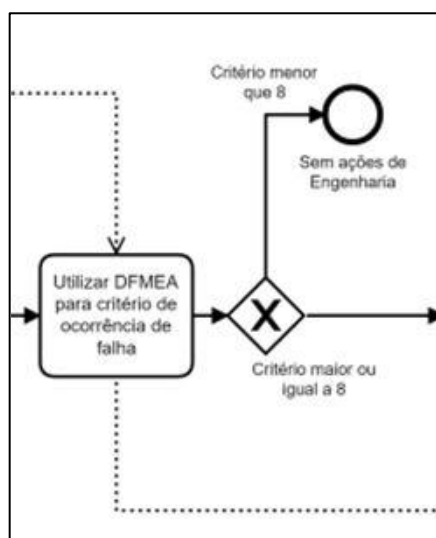
Uma vez finalizada a atividade de identificação dos componentes, é gerada uma lista de componentes identificados que serão exportados para o próximo passo.

#### 4.1.4 Passo 4 - Utilização critério DFMEA para ocorrência de falhas

Com a lista de peças falhadas identificadas, é preciso estabelecer um critério para determinar a necessidade de uma ação de Engenharia. No passo 4, conforme mostrado na figura 15, a primeira atividade tem por objetivo estabelecer um critério de ocorrência de falhas. A partir desse critério, o time de engenharia de desenvolvimento de produtos pode determinar, a partir de qual nível de ocorrência de falhas é necessário implementar alguma modificação no módulo que é objeto de estudo.

Sendo assim, para o presente trabalho se propôs utilizar o método de Análise do Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis - FMEA*). Esse método é amplamente usado dentro das indústrias em geral, principalmente as automotivas. A escolha do FMEA para esse passo, ocorreu pelo fato de ser uma ferramenta altamente difundida e conhecida dentro das indústrias. Dessa forma o seu conhecimento e utilização por parte do time de projetos se torna mais fácil e eficiente. Como estamos trabalhando dentro do escopo do projeto de componentes de plataforma, o tipo de FMEA usado foi o de projeto, conhecido como DFMEA (*Design Failure Mode and Effect Analysis*). Apesar de ser mais utilizado para tentar identificar falhas que tenham potencial de ocorrer, ele se mostrou altamente adaptável a presente situação onde temos falhas já ocorridas em campo.

**Figura 15** - Detalhamento do passo 4



**Fonte:** O próprio autor



É um método que dentro do trabalho proposto se mostra eficaz como uma ferramenta para direcionar ações de engenharia através da sua utilização. Para a utilização do DFMEA, foi usada a classificação de ocorrência apresentada na tabela 1. Essa classificação tem como referência a *Automotive Industry Action Group* (AIAG) FMEA 4th edition.

**Tabela 1** - Referência FMEA para critério de ocorrência de falha

Probabilidade de falha	Crítérios: Ocorrência de Causa (vida do projeto / confiabilidade do item / veículo)	Crítérios: Ocorrência de Causa (Incidentes por itens / veículos)	Avaliação
Muito alta	Nova tecnologia / novo projeto, sem histórico	mais que 5%	<b>10</b>
Alta	A falha é inevitável com novo design, nova aplicação, ou mudança de ciclo de serviço / condições operacionais		
	A falha é provável com novo design, <b>nova aplicação</b> , ou mudança de ciclo de serviço / condições de operação	1% < X < 5%	<b>8</b>
	A falha é incerta com novo design, <b>nova aplicação</b> , ou mudança de ciclo de serviço / condições de operação		
Moderada	Falhas freqüentes associadas a projetos similares ou em simulação de projeto e testes.	1 por 1000 < X < 1%	<b>6</b>
	Falhas ocasionais associadas a projetos similares ou em simulação de projeto e testes.		
	Falhas isoladas associadas com projeto semelhante ou em simulação de projeto e testes	1 por 50 000 < X < 1 por 1 000	<b>3</b>
Baixa	Somente falhas isoladas associadas com o projeto quase idêntico ou em simulação de projeto e testes		
	Não há falhas observadas associadas ao projeto quase idêntico ou em simulação de projeto e testes	menos que 1 por 50 000	<b>1</b>
Muito baixa	Muito Baixa A falha é eliminada através do controle preventivo		

**Fonte:** O próprio autor

Com a referência da tabela 1, o usuário precisa definir dentro da classificação apresentada, um critério de avaliação onde a ocorrência direcione a uma análise mais profunda das falhas. Ou seja, caso a ocorrência de falhas seja menor que o critério estabelecido o método não continua, chegando a uma saída sem ações de engenharia.

Verificando os critérios de ocorrência de causa, o presente método estabeleceu um valor de classificação onde o usuário deve seguir para uma análise mais detalhada das falhas, onde o método direciona para o próximo passo. O valor de classificação estabelecido foi 8. O motivo da escolha desse valor de classificação, como pode ser observado na tabela 1, decorre do fato de que a falha que é provável ou incerta está conectada a nova aplicação. Dessa forma, as incertezas existentes em um novo design podem ser geradas pelo fato de um componente ser utilizado em uma nova aplicação. Lembrando, o método aqui apresentado visa atender a diagnosticar a eficiência das plataformas de produtos em

diferentes aplicações. Sendo assim, esse critério de classificação escolhido se mostra totalmente alinhado com os objetivos.

De acordo com o critério de avaliação de ocorrência de falhas estabelecido acima, podemos ter duas opções. A primeira, quando a atividade Utilizar DFMEA para critério de ocorrência de falha estiver finalizada, e todos os componentes identificados com falha tiverem classificação menor do que 8, então o método segue a opção Critério menor que 8. Nessa opção, o método chegara a uma saída denominada Sem ações de Engenharia. Dessa forma, o usuário é capaz de identificar os componentes que apresentaram registros de falha, porém devido ao critério DFMEA utilizado para classificar a ocorrência de falhas, não necessitam de uma ação mais detalhada de análise de falhas em campo. Assume-se nesse caso, que a plataforma, dentro de todas as aplicações nas quais é submetida, apresenta registros de falhas, porém são aceitáveis seguindo o critério estabelecido anteriormente para a ocorrência de falhas.

A segunda opção, ocorre quando após a atividade Utilizar DFMEA para critério de ocorrência de falha, algum dos componentes apresenta um valor de classificação de ocorrência de falhas igual ou maior do que 8. Nesse caso, a incerteza proveniente de uma nova aplicação, gera uma necessidade de se seguir com uma análise de dados mais detalhada. Sendo assim, o usuário deve seguir para a opção Critério maior que 8 do método. O quadro 8, mostra um exemplo de como é aplicado o critério de DFMEA para ocorrência de falhas, considerando um grupo de componentes com registro de falhas em campo. Foi estabelecido um cálculo para a avaliação da ocorrência de causa. Esse se dá através da divisão da quantidade de vezes que uma falha ocorreu em um determinado componente, pelo volume de produção das variantes de produto pertencente a plataforma onde o componente é montado. Isso, considerando o volume dentro do período de tempo em que a pesquisa foi realizada.

**Quadro 8** - Aplicação do critério DFMEA para ocorrência de falhas

Componentes do Módulo A	Ocorrências de falhas na base de dados	Quantidade de produtos fabricados	Ocorrência de Causa	Avaliação
Componente A	2	1000	0,2%	6
Componente B	15	1000	1,5%	8
Componente C	100	1000	10,0%	10
Componente D	30	1000	3,0%	8

**Fonte:** O próprio autor

No fim do passo 4, o usuário terá identificado os componentes que possuem critério de ocorrência de falha maior ou igual a 8. Dessa forma o método direciona para a opção 2, explicada anteriormente e poderá seguir para o passo seguinte.

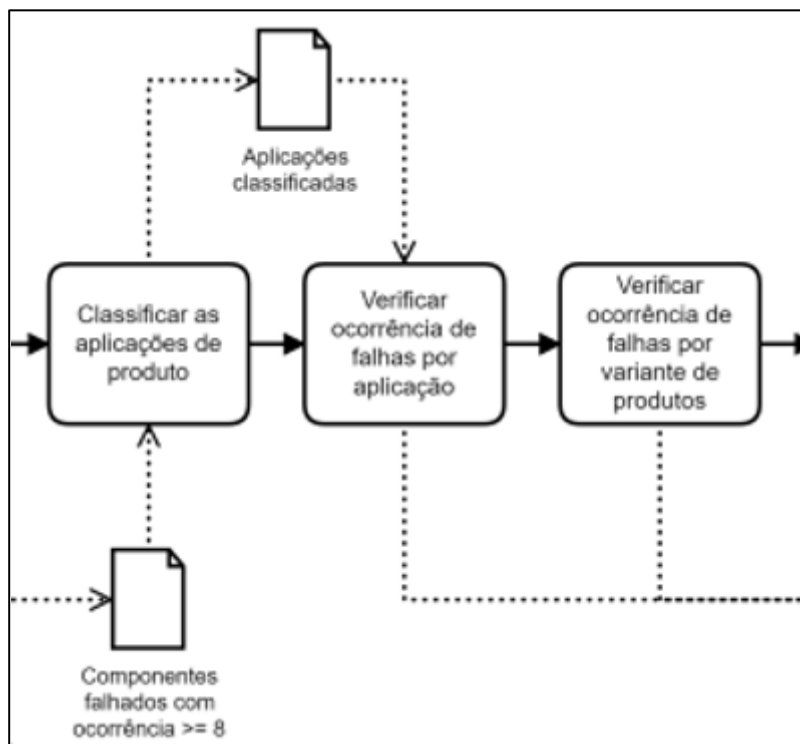
#### 4.1.5 Passo 5 - Classificação das aplicações e verificação das ocorrências

Dando sequência ao método, é iniciado o passo 5. Uma vez tendo as peças classificadas com ocorrência de falha maior ou igual a 8, o usuário precisa classificar as aplicações onde essas ocorrências aparecem. Essa é uma etapa importante dentro do método, pois é nesse momento em que o usuário precisa determinar a severidade das aplicações nas quais a plataforma de produtos é utilizada. Além disso, as primeiras informações a respeito de como os módulos são afetados pelas diferentes aplicações começam a aparecer.

O passo 5 se inicia através da atividade *Classificar as aplicações de produto*, conforme mostrado na figura 16. Nessa atividade, o usuário precisa buscar formas de classificar as aplicações de campo em termos de severidade. As indústrias em geral, especialmente as automotivas, possuem variantes de produtos voltadas a aplicações específicas. Porém, diferentes variantes de produto, provenientes de uma mesma plataforma, possuem diversos componentes em comum. Dentro do escopo desse trabalho, esse aproveitamento de módulos dentro de uma família de produtos voltados a diferentes aplicações é o que muitas vezes acaba gerando problemas de qualidade em campo. Esses problemas, criam um alto nível de ocorrência de falhas em campo, ficando assim documentadas nos registros de serviços das oficinas autorizadas. A base de dados, gerada através dos registros de serviços, muitas vezes não possuem uma informação clara e direta a respeito de

onde o determinado componente está sendo aplicado. O levantamento dessa informação deve ficar a cargo do usuário do método aqui proposto, levando em conta o seu conhecimento a respeito do produto, e o resgate dessa informação pode variar de acordo com a base de dados disponível.

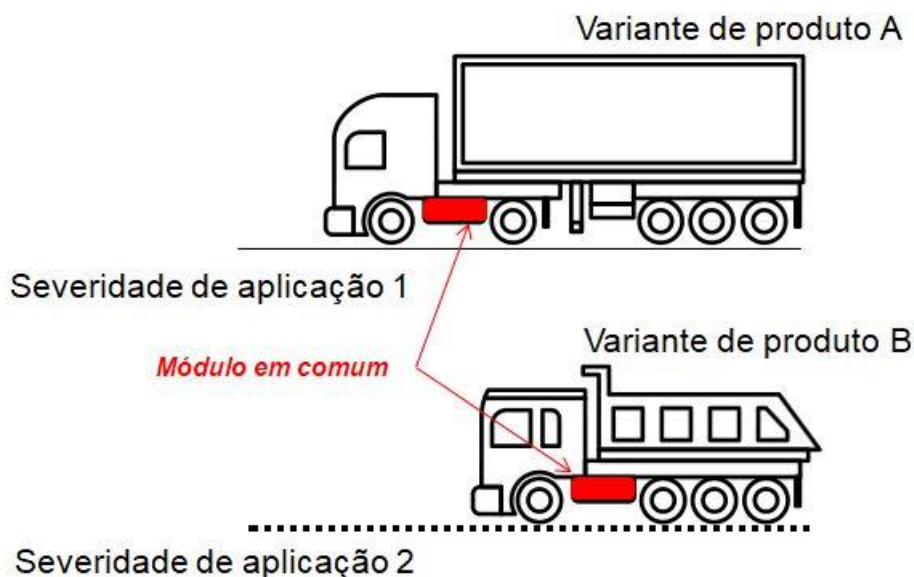
**Figura 16** - Passo 5 do método proposto



**Fonte:** O próprio autor

A classificação das severidades das aplicações de produto pode variar entre empresas, bem como dos segmentos de produtos em que cada uma atua. Porém, nesse passo é importante identificar diferentes características de aplicação da plataforma. Essas características pertencentes a cada aplicação, determinam as diferentes formas de desempenho dos componentes da plataforma. De uma forma mais clara, busca-se entender qual o impacto no desempenho de cada componente quando submetidos a diferentes severidades de aplicações. Para isso, o usuário precisa buscar informações, de onde os componentes que são objetos de estudo estão sendo aplicados. Um exemplo de diferentes características de aplicações pode ser visto na figura 17.

**Figura 17** - Exemplo de características de aplicação



**Fonte:** O próprio autor

No exemplo ilustrativo da figura acima, temos duas diferentes variantes de produtos de uma mesma família, que foram desenvolvidas sob uma mesma plataforma de produtos. A severidade da aplicação 1 é diferente da 2, e é representada pelos diferentes tipos de linha. Porém, as duas variantes de produtos dividem módulos da plataforma de produtos. Dessa forma, um mesmo módulo pode apresentar desempenho diferente, em termos de percepção da qualidade pelo cliente final, uma vez que está submetido a diferentes aplicações.

Uma vez finalizada a atividade de classificação das aplicações do produto, inicia-se a atividade de Verificar a ocorrência de falhas por aplicação. Durante essa atividade, o usuário deve fazer uma análise criteriosa das ocorrências de falha para cada uma das aplicações classificadas na atividade anterior. Através do programa de análise de dados, poderá ser observado de forma mais clara onde existem as maiores incidências de falhas por aplicação. Nessa etapa, o engenheiro de desenvolvimento de produtos poderá direcionar, em termos de aplicação do produto, as futuras ações necessárias para correção das falhas.

Um exemplo de resultado dessa atividade é mostrada no quadro 9. No exemplo da figura, as aplicações foram classificadas como leve, média e severa. A representação geométrica em azul, indica onde aconteceram as maiores ocorrências de falha dos componentes, considerando cada nível de severidade de aplicação.

Não há uma regra estabelecida a respeito de nomenclatura das severidades de falha, ou como elas devem ser levantadas dentro da base de dados. O importante é que o usuário possa entender as diferentes características de aplicação da família de produtos a ser estudada, e conseguir classificar da melhor forma as severidades da aplicação.

**Quadro 9** - Classificação de severidade da aplicação

COMPONENTE	SEVERIDADE DA APLICAÇÃO		
	LEVE	MÉDIA	SEVERA
ABSORBER_RUBBER		▪	■
ANCHORAGE_STAY_MUDGUARD_LHS	•		
ANCHORAGE_STAY_MUDGUARD_RHS	•		
BRACKET_SLIDABLE	▪	•	
CAP_FRONT FENDER		•	
CAP_REAR FENDER	•		
MUDFLAP_315	■	■	

**Fonte:** O próprio autor

Observando o quadro acima, o componente *MUDFLAP\_315* é o componente com maiores registros de falha. De acordo com as representações geométricas, essas falhas ocorrem em sua maior parte nas aplicações classificadas como leve ou média. Essa é uma informação importante, quando consideramos a motivação do presente trabalho. Em um ambiente de projeto, é comum tentar correlacionar as ocorrências de falhas a uma aplicação de produtos com características de severidade alta. Ou seja, sempre que um componente falha, busca-se focar em uma ação de melhoria no componente considerando informações de aplicações com uma característica de severidade de aplicação mais crítica.

Porém, observando a figura podemos verificar que não é sempre assim que acontece. A severidade de aplicação de um produto não necessariamente representa a mesma severidade de aplicação de um módulo ou componente. Isso fica evidente quando observamos o registro de falhas do componente citado acima, onde as maiores ocorrências de falha estão nas aplicações de produto classificados como leve ou média. De alguma forma, essas duas aplicações influenciam em maior grau de forma negativa no desempenho do componente, quando comparada a aplicação classificada como severa. E nesse ponto do método, o engenheiro de

produtos deve ser capaz de interpretar essas informações para direcionar futuras ações de engenharia.

Uma vez verificada as ocorrências de falhas por aplicação, o método segue para a atividade de Verificar ocorrência de falhas por variante de produtos. Combinando as informações da atividade anterior com a atividade de incluir as variantes de produtos na análise de dados, expande-se ainda mais a quantidade de informações possíveis a serem analisadas. Conforme mostrado na tabela 2, que possui dados gerados aleatoriamente para realizar uma análise de dados, podemos verificar como seria o resultado dessa atividade. Com os dados da tabela, o engenheiro de produto é capaz de observar as tendências ou discrepâncias das ocorrências de falha.

A figura mostra que existem diferenças nas ocorrências de falhas por componente. Para cada variante de produtos listada, existe uma tendência de ocorrência de falhas por severidade de aplicação. Por exemplo, na variante A os maiores números de ocorrência de falhas estão centralizados em aplicações leve ou média. Quando observamos a variante D, o maior número de ocorrências está na aplicação severa.

**Tabela 2** - Combinação de dados de aplicação e variantes de produto

COMPONENTES DO MÓDULO X	SEVERIDADE DE APLICAÇÃO	VARIANTES DE PRODUTO			
		A	B	C	D
Componente 1	LEVE	10		4	
	MÉDIA	7	4	3	1
	SEVERA			3	7
Componente 2	MÉDIA	8	7	6	
	SEVERA		6	8	9
Componente 3	LEVE	6	1	5	1
	MÉDIA	7	8	4	8
	SEVERA	1	2	3	6
Componente 4	MÉDIA	9	6		7
	SEVERA		3	3	5

**Fonte:** O próprio autor

Isso ocorre porque, apesar de os mesmos componentes serem montados em diferentes variantes de produtos, na maioria das vezes cada variante é desenvolvida com um propósito diferente de uso. Sendo assim, as severidades para cada uma das variantes de produtos tendem a ser diferentes. Dessa forma, o time de engenharia de desenvolvimento de produtos não pode assumir que componentes de

um mesmo módulo, terão as mesmas ocorrências de falhas para cada variante de produtos. O resultado dessa atividade nos mostra que, é fundamental entender as diferenças de registros de falha para cada variante de produtos, quando combinados com as diferentes severidades de aplicação. Esse entendimento irá embasar futuras alterações de projeto em componentes, considerando as particularidades de cada variante de produto.

Ao fim da atividade de verificação da ocorrência de falhas por variante de produtos, o método é direcionado ao passo 6.

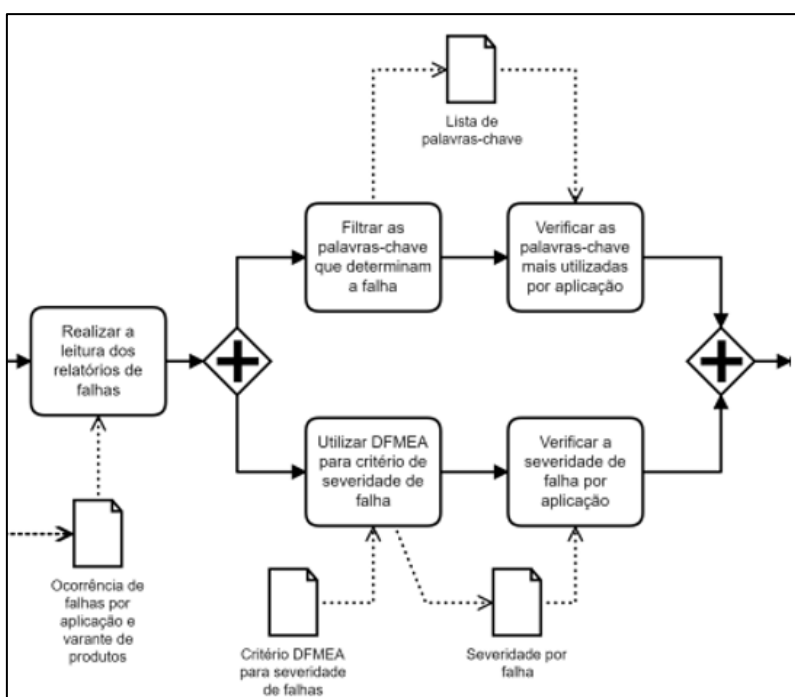
#### 4.1.6 Passo 6 - Utilização do critério DFMEA para severidade e busca das palavras-chave

O passo 6 se inicia com a atividade Realizar a leitura dos relatórios de falha, conforme mostrado na figura 18. A base de dados utilizada para a demonstração do caso real de aplicação, contém as informações escritas pelos prestadores de serviço a respeito do que ocasionou a falha. As empresas de manufatura que possuem registros de ocorrência de falhas em seus produtos, geralmente adicionam um campo onde o prestador de serviço detalha o que motivou o cliente a levar o seu produto a oficina autorizada. Nas empresas automotivas, toda a vez que um cliente leva o seu veículo a uma concessionária para realização de algum reparo, os mecânicos preenchem um campo com informações mais detalhadas do que motivou o reparo. Esse campo é extremamente importante para o trabalho de análise de dados, pois a partir deles as empresas são capazes de entender de forma mais clara o que ocasionou determinada falha em seus produtos.

Porém, em muitos registros de falhas esse campo é preenchido de forma não padronizada, ficando a cargo do prestador de serviço tentar explicar o ocorrido. Nesse ponto, o usuário do método precisa estabelecer um padrão próprio de retirada de informações. A atividade de leitura requer conhecimento do produto e dos seus possíveis modos de falha. Isso acontece porque muitas vezes o prestador de serviço não descreve de forma totalmente clara o que ocasionou a falha, ficando muitas vezes a cargo do usuário do método procurar interpretar o que aconteceu.



**Figura 18** - Detalhamento do passo 6



**Fonte:** O próprio autor

Sendo assim, a atividade de leitura é muito importante para procurar entender o que realmente ocasionou a falha. Como explicado anteriormente é preciso durante a leitura dos relatórios gerados pelas oficinas, extrair informações a respeito do que ocasionou a falha. Uma vez levantadas essas informações, o usuário precisa de certa maneira classificar as falhas através de um critério a severidade. Nesse ponto, o método parte para algumas atividades em paralelo, em que o usuário precisa descrever a falha e estabelecer uma severidade.

A forma estabelecida nesse método para descrever a falha de forma mais resumida, consta da retirada de palavras-chave do texto proveniente dos registros de falha. Essa ação, faz parte da atividade *Filtrar as palavras-chave que determinam a falha*. O objetivo dessa atividade é encontrar a palavra-chave que mais caracteriza a falha. Como o campo de texto em que o prestador de serviço utiliza para descrever a falha não é padronizado, então ele fica livre para descrever a falha da maneira que achar mais apropriada. Dessa forma, a qualidade das informações no texto pode variar entre prestadores de serviço. A escolha de palavras-chave dentro do texto para descrever de forma mais resumida uma falha, vem da proposta de tentar resolver o problema de falta de padronização de

informações. Ainda sim, fica a cargo do usuário do método escolher a palavra que melhor descreve a falha. Um exemplo hipotético dessa atividade é mostrada no quadro 10.

**Quadro 10** - Exemplo de registro de reclamação em campo

<b>REGISTRO DE RECLAMAÇÃO</b>	<b>PALAVRA-CHAVE</b>
CLIENTE RECLAMA QUE COMPONENTE ESTA GASTO. APÓS VERIFICACOES FOI CONSTATADO QUE O BATENTE DE BORRACHA DO COMPONENTE A LD ESTA COM FOLGA, VINDO A CUASAR DANOS DE MATERIAL NO CONJUNTO. ASSIM GERANDO <b>DESGASTE</b> ENTRE O SUPERIOR E INFERIOR. EFETUAMOS A SUBSTITUIÇÃO DO BATENTE DE BORRACHA DO COMPONENTE DO CONJUNTO SUPERIOR E INFERIOR, ASSIM SANANDO A FALHA DO PRODUTO.	DESGASTE
COMPONENTE_A DIANTEIRO L/D QUEBRADO. APÓS ANALISE TÉCNICA FOI CONSTADO QUE A <b>QUEBRA</b> DO CONJUNTO DIANTEIRO LADO DIREITO OCORREU DEVIDO UMA FALHA DO MATERIAL PROVENIENTES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO OCASIONANDO A QUEBRA DO COMPONENTE_A. FOI PRECISO SUBSTITUIR O COMPONENTE DO CONJUNTO ONDE LOGO DEPOIS LIBERAMOS O PRODUTO PARA ENTREGA.	QUEBRA

**Fonte:** O próprio autor

No exemplo da acima, temos dois casos de registro de reclamação de cliente. A palavra-chave escolhida para cada um dos registros foi a que melhor representou a falha ocorrida no componente. Como dito anteriormente, cada registro de falha mesmo não sendo padronizado, se torna uma fonte de informações para o usuário do método. A partir do momento que é escolhida a palavra-chave, o usuário está padronizando de certa forma essas informações.

Uma vez identificadas todas as palavras-chave, é preciso agora estabelecer um nível de severidade para as falhas registradas. Ao passo que o usuário do método lê os relatórios de falha, ele também deve estabelecer um critério de severidade para as mesmas. No método aqui proposto, buscou-se mais uma vez recorrer ao FMEA para estabelecer um critério de classificação da severidade das falhas. Da mesma forma que apresentado no passo 4, quando comentado da escolha do FMEA para estabelecer uma classificação das ocorrências de falhas, agora iremos utilizar o mesmo método para o critério de severidade da falha. Assim,

a tabela 3 mostra os critérios e índices de severidade correspondentes. Mais uma vez, a referência é a *Automotive Industry Action Group (AIAG) FMEA 4th edition*.

**Tabela 3** - Referência FMEA para critério de severidade de falha

<i>Efeito</i>	<i>Critério</i>	<i>Índice de Severidade</i>
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primárias).	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	
Moderado	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	3
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	1
Nenhum	Sem efeito identificado.	

**Fonte:** O próprio autor

Durante a atividade Utilizar DFMEA para critério de severidade de falha, o usuário deve estabelecer o índice de falha correspondente para cada registro. O valor atribuído a cada registro de falha, vai partir do conhecimento em relação ao componente e da experiência do usuário do método. A atribuição do índice de falha ajuda o engenheiro de produtos a entender o quão severa foi a falha reportada. Isso, juntamente com as palavras-chave levantadas, irá direcionar o engenheiro a entender como se estabeleceu a falha no módulo que é objeto de estudo.

Com todas as informações levantadas a respeito das falhas, o usuário parte para uma sequência de atividades de cruzamento de dados. As palavras-chave são combinadas com as aplicações estabelecidas anteriormente e um exemplo de resultado pode ser visto na tabela 4. A atividade Verificar as palavras-chave mais utilizadas por aplicação, tem como objetivo identificar uma correlação entre os modos de falha com os tipos de aplicações. No exemplo da figura, é possível observar que no componente C as maiores ocorrências de falhas

estão localizadas na aplicações de severidade média, sendo que as palavras-chave que mais determinam as falhas são perda e trinca.

**Tabela 4** - Cruzamento de dados de aplicação e palavras-chave

Componente	Palavra-Chave	Aplicação		
		LEVE	MÉDIA	SEVERA
COMPONENTE A	FRATURA	2	1	
	PERDA	1		
	QUEBRA	4		
	TORQUE	1		5
	TRINCA	1	4	2
COMPONENTE B	FRATURA		2	12
	PERDA			6
	QUEBRA	17		8
	TRINCA	3	10	
COMPONENTE C	FRATURA		11	
	PERDA	13	191	33
	QUEBRA	48	65	
	TORQUE	45	28	
	TRINCA	18	129	13

**Fonte:** O próprio autor

Assim, para o componente C, entende-se que para a aplicação média, as peças estão apresentando trinca e há uma perda do componente em campo. Da mesma forma, dentro da atividade Verificar a severidade de falha por aplicação, é possível se combinar os resultados dos índices de severidade levantados anteriormente, para cada aplicação do produto. A tabela 5, mostra o mesmo exemplo da figura anterior, porém fazendo a combinação de informações entre os índices de severidades levantados a partir do critério de FMEA e as aplicações de campo. Observando novamente o componente C, é possível verificar que as falhas consideradas com os maiores índices de severidade estão relacionadas a aplicação média. Combinando com os dados da tabela 4, o componente C corresponde ao componente do módulo onde as maiores ocorrências de falha foram registradas, sendo essas concentradas em aplicações de severidade determinada como média. Continuando a análise, esse mesmo componente apresenta falhas majoritariamente determinadas por apresentarem trincas e perda do componente, sendo assim na grande maioria das ocorrências, são classificadas através de índices de severidade de 6 e 8 conforme o critério FMEA.

**Tabela 5** - Cruzamento de dados de aplicação e índice de severidade

Componente	ÍNDICE DE SEVERIDADE	Aplicação		
		LEVE	MÉDIA	SEVERA
COMPONENTE A	3	3	1	5
	6	5	4	2
	8	1		
COMPONENTE B	3		2	12
	6	20	10	8
	8			6
COMPONENTE C	3	45	39	
	6	66	194	13
	8	13	191	33

**Fonte:** O próprio autor

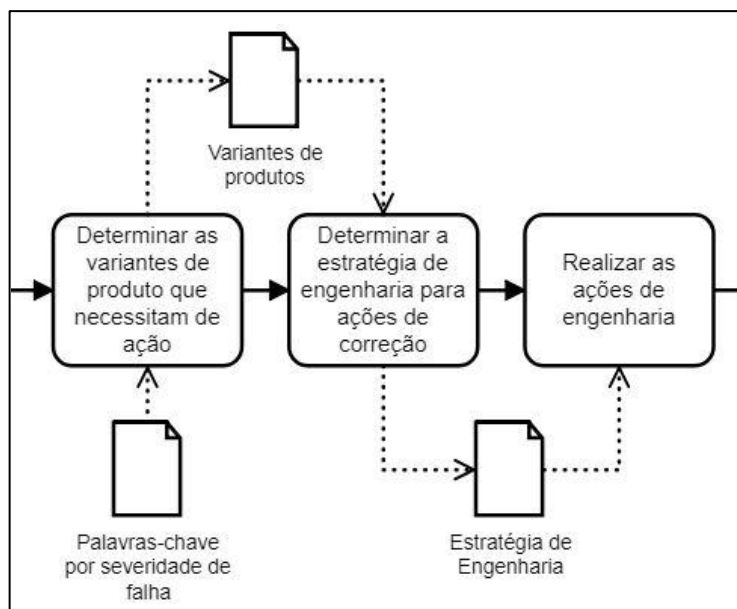
Conforme apresentado nessa seção, o passo 6 é de extrema importância dentro do método. É nele onde as principais informações são levantadas e agrupadas, conforme mostrado através das figuras. A partir das informações aqui mostradas, o usuário terá meios de seguir para o sétimo e último passo.

#### 4.1.7 Passo 7 - Estratégia para ações de engenharia

O último passo do método corresponde ao agrupamento de todas as informações e definições de estratégias para ações de engenharia. A partir daí, o engenheiro de produtos terá informações suficientes para determinar qual a melhor intervenção no módulo pertencente a plataforma. Ao final do método, o engenheiro deverá ter analisado todos os dados de reclamação de campo, que são referentes a uma determinada plataforma de produtos.

Conforme mostrado na figura 19, o passo 7 se inicia com a atividade Determinar as variantes de produto que necessitam de ação. Uma vez já levantadas as palavras-chave e combinadas com os índices de severidades, agora o usuário precisa inserir na tabela as variantes dos produtos que apresentaram registros de falhas. Através da combinação da lista de variantes com as respectivas aplicações, palavras-chave e índice de severidade, a tabela de informações estará completa.

**Figura 19** - Representação do passo 7



**Fonte:** O próprio autor

A tabela 6 mostra um exemplo com dados simulados do resultado final com todas as informações agrupadas em uma única tabela. Na tabela, é possível verificar a distribuição de falhas por variante de produtos. Dessa forma, fica mais fácil de diagnosticar em quais variantes as falhas estão se mostrando mais evidentes. Para isso, basta verificar a distribuição das ocorrências de falhas através das variantes da plataforma, que quando combinadas com as informações de aplicação e severidade de falha, fornece um panorama completo dos registros de falha por componente.

No exemplo mostrado, podemos observar que o componente A possui poucos registros de falhas e que estão concentrados nas variantes de produtos A e C. As ocorrências de falhas por aplicação estão bem distribuídas. Podemos concluir que esse componente sofre a mesma influência para todas as aplicações, sendo que a variante de produto A desempenha maior influência na aplicação leve, enquanto a variante C nas aplicações média e severa. Provavelmente, a variante C é um produto que foi projetado para atender na maioria dos casos as duas aplicações, enquanto a variante A somente para a aplicação leve. Dentro da indústria, podem existir casos onde um produto venha a desempenhar funções dentro de mais de

uma aplicação. Durante o passo 5, o usuário tem que ser capaz de identificar e separar as diferentes aplicações na qual uma mesma variante atue.

**Tabela 6** - Combinação de informações para cada variante de produto

Componente	Aplicação	ÍNDICE DE SEVERIDADE	VARIANTE DE PRODUTO		
			A	B	C
COMPONENTE A	LEVE	3	3		
		6	5		
		8	1		
	MÉDIA	3			1
		6			4
		8			5
	SEVERA	3			2
		6			
		8			
COMPONENTE B	LEVE	6		7	13
		3			2
		6			10
	MÉDIA	3			12
		6			8
		8			6
	SEVERA	3			
		6			
		8			
COMPONENTE C	LEVE	3	27	12	6
		6	8	31	27
		8			13
	MÉDIA	3			39
		6	62	47	85
		8	29	1	161
	SEVERA	6		8	5
		8		16	17

**Fonte:** O próprio autor

O componente B do módulo apresentado na tabela acima, mostra maiores ocorrências de falhas na variante de produtos C. Na variante B, apareceram apenas 7 ocorrências de falhas, o que mostra que essa variante não poderia ser usada como objeto de validação desse componente, nem tão pouco a variante A onde não apareceram registros de falha. Como o impacto da variante B no desempenho do componente B é muito pequeno, seria incorreto usar um produto dessa variante de produtos como objeto de validação de desempenho de componente.

Dessa forma, é de extrema importância para a análise de dados desenvolvida no método aqui mostrado, combinar todas as informações de variantes de produtos com as respectivas aplicações. Para o mesmo componente, os índices de severidade de falha predominante são os classificados como 3 e 6. Consultando os

critérios estabelecidos pelo FMEA para severidade, o engenheiro terá um melhor entendimento de como as falhas registradas para o componente B influenciaram no desempenho do mesmo na plataforma de produtos. Da mesma forma, o índice de severidade apresentado na tabela, fornece ao engenheiro uma melhor direção do tipo de ação de engenharia que o componente deverá ser submetido.

Para o componente C, podemos observar que o número de ocorrências de falhas é maior quando comparado com os outros componentes. Mais uma vez, a variante C predomina com relação as ocorrências registradas, tendo as variantes A e B números relativamente próximos de ocorrências de falhas. As ocorrências estão concentradas nas aplicações médias, mostrando que essa é a aplicação que mais impacta no desempenho desse componente. Os maiores índices de severidade estão concentrados nas classificações 6 e 8. Isso demonstra que há um maior impacto negativo no desempenho do componente, quando da ocorrência das falhas. Sendo assim, deve-se considerar a variante C, sendo aplicada em um nível médio de severidade como o principal foco durante as propostas de melhoria para o componente C.

Observando o exemplo da tabela acima, o engenheiro de desenvolvimento de produtos é capaz de fazer uma combinação de informações entre os diferentes componentes de um mesmo módulo. Através de uma análise de dados mais ampla, pode-se realizar uma avaliação de todas as informações de aplicação, índice de severidade e variantes de produtos para um módulo específico. Dessa forma, é possível direcionar de que forma será feita a validação de desempenho geral do módulo. Por exemplo, assumindo que os componentes A, B e C são componentes pertencentes a um módulo X. Analisando os dados da tabela 6, caso queira se direcionar futuras ações de validação de melhorias desse módulo, podemos observar que a variante C quando submetida a uma aplicação severa será capaz de representar a maioria das ocorrências de falhas dentro do módulo X. Isso nos diz que essa combinação de variante e aplicação deve ser considerada para a representação do universo de falhas em campo.

Através da análise de dados apresentada acima, o usuário terá informações suficientes para definir as estratégias das ações de engenharia, que serão direcionadas as variantes de produtos determinadas pelos registros de ocorrência de falhas. Durante a atividade denominada Determinar a estratégia de engenharia para ações de correção, o engenheiro de produtos irá analisar a



tabela com as informações de aplicação em campo, e direcionar as ações de correção de acordo com as informações levantadas durante o processo de análise de dados.

Durante o processo de definição das estratégias de modificação dos módulos, algumas opções de ações de engenharia devem ser consideradas. Podemos destacar 4 possíveis ações:

1. Reforçar ou melhorar a solução atual;
2. Escolher um outro módulo da plataforma para substituir o módulo atual;
3. Desenvolver um novo módulo apenas para as variantes de produto com maiores ocorrências de falha;
4. Desenvolver um novo módulo para todas as variantes de produtos.

Na primeira opção, o engenheiro irá procurar melhorar o desempenho do módulo que está apresentando altos níveis de falha em campo. Caso seja escolhida essa opção, o módulo é modificado para que possa melhorar o seu desempenho na plataforma de produtos. Essa opção irá demandar um custo de melhoria de produto, porém uma vez já entendido onde as falhas estão ocorrendo e quais componentes do módulo atual são afetados, a ação de melhoria do componente atual tende ser mais assertiva.

A segunda opção, parte do pressuposto que existem outros módulos pertencentes a plataforma que poderiam substituir o módulo defeituoso. Diante desse cenário, uma nova análise de dados, seguindo o método aqui apresentado se faz necessária. É preciso saber se o módulo considerado na substituição, possui um desempenho melhor nas mesmas situações de aplicação do que o módulo atual. Dessa forma é importante que o engenheiro analise as informações apresentadas na tabela da atividade anterior, e identifique se a nova opção irá satisfazer as necessidades de desempenho em campo. A vantagem de se escolher um outro módulo já existente é o fato de não demandar custos de melhoria ou desenvolvimento de componentes.

A opção de se desenvolver um novo módulo, apenas para as variantes de produto com maiores ocorrências de falha vai contra o objetivo de redução de custo, que é proposto pela plataforma de produtos. Existem alguns outros fatores de mercado que podem contribuir na escolha dessa opção. Por exemplo, variantes de

produtos aplicados em mercados onde os módulos não apresentam falhas, podem não aceitar o risco de receber um novo módulo. Outra questão, vem da abrangência das ocorrências das falhas dentro de uma família de produtos. Podem haver casos onde as falhas estão altamente concentradas em poucas variantes de produtos. Não faria sentido correr o risco de desenvolver um novo módulo para o restante das variantes que não são impactadas, e novamente correr o risco de problemas futuros. Contudo, é uma estratégia que deve ser considerada dentro do projeto de produto e em alguns casos específicos é considerada uma opção. Retornando a motivação do presente trabalho de pesquisa, muitas plataformas que são desenvolvidas com o objetivo de se reduzir os custos de projeto de vários módulos, acabam não atendendo de forma homogênea, em termos de desempenho de produto todas as aplicações de mercado. Dessa forma, é uma opção que deve ser considerada caso não seja possível fazer uma substituição completa do módulo com baixo desempenho.

A última opção de estratégia de engenharia diz respeito ao desenvolvimento de um novo módulo para todas as variantes de produto. Sendo um caso oposto da opção anterior, essa opção visa manter a plataforma com o menor número possível de módulos. Geralmente, essa estratégia está de acordo com a proposta inicial de redução de custos proposta pela plataforma de produtos. Porém, conforme explicado na situação anterior, muitas vezes apesar da plataforma atender aos requisitos de custo ela acaba não atendendo aos requisitos técnicos de qualidade percebida pelo cliente. Caso essa seja a opção tomada pelo time de projetos, deve-se realizar a análise de dados aqui proposta pelo método, de forma a garantir que as aplicações que mais impactam no desempenho do módulo serão consideradas nas validações do novo módulo a ser desenvolvido.

Uma vez definida a melhor estratégia, o time de projeto está pronto para seguir para a última atividade do método, que diz respeito a *Realizar as ações de engenharia*. Durante essa atividade, o time de projeto deverá implementar uma das 4 opções de modificação de módulos conforme apresentada na atividade anterior. Através das informações levantadas pela análise de dados apresentada nesse trabalho, o engenheiro de produtos terá embasamento técnico para implementar uma ação de engenharia. Sendo essa atividade fundamentada em uma análise robusta de dados de campo, no qual considera as diferentes condições de aplicações da plataforma. Por fim, as ações aqui tomadas precisam ser verificadas

em termos de sua eficácia. Para tanto, uma nova base de dados precisa ser gerada após a introdução da estratégia escolhida em campo. A partir desse ponto, o engenheiro de produtos terá uma base de dados alimentada com as novas informações de reclamação de clientes, base essa gerada mais uma vez através das oficinas autorizadas. Caso o nível de ocorrência de falhas em campo continue alto, novas ações devem ser planejadas pelo time de projeto. Novamente, a base de dados deve ser realimentada com as informações de campo e esse ciclo deve continuar até que se tenha um nível de ocorrência de falhas em campo dentro de um valor considerado aceitável pelo time de projeto.

Nesse tópico foi apresentado o método. Cada um dos sete passos foram detalhados, apresentando as suas relevâncias dentro do processo e o que se espera de saída de informações. Na sequência, será apresentada uma demonstração do método realizada em um ambiente industrial.

#### 4.2 DEMONSTRAÇÃO DO MÉTODO

Nessa seção, será demonstrada uma aplicação real do método desenvolvido. A demonstração se deu em um ambiente industrial. O objetivo foi verificar se o método é capaz de atender ao objetivo proposto. Para isso, foi utilizado um caso real de aplicação do método, sendo realizado dentro do time de desenvolvimento de produtos de uma montadora de veículos pesados em Curitiba - PR. Dessa forma, foram utilizadas as plataforma de produtos já desenvolvidas pela empresa parceira.

O primeiro passo do método foi iniciado. A base de dados gerada pelas oficinas autorizadas, contendo os registros de reclamação em campo foi carregada. Essa base de dados é acessada inicialmente através do programa *Microsoft Excel*. Na empresa parceira, é através dessa forma que os registros são enviados para os engenheiros de desenvolvimento de produtos. No quadro 11 é possível observar a forma na qual a base de dados é carregada. Cada uma das linhas representa um registro de falha, que corresponde a uma reclamação de cliente. Nas colunas, são apresentadas várias informações que contribuem para rastrear os veículos que apresentaram ocorrências de falha. Como por exemplo, a data de abertura do registro, qual o componente do módulo apresentou falha, qual a quilometragem do veículo, etc. Conforme foi apresentado no passo 2 do método, algumas das

informações que constam nas colunas são utilizadas para se definir os parâmetros de pesquisa.

**Quadro 11 - Base de dados utilizada na demonstração**

PLATAFORMA	DATA DE FABRICAÇÃO	COMPONENTE	VARIANTE DE PRODUTO	REGISTRO DE FALHA	MÓDULO 1	MÓDULO 2
A	11/05/2016	HEX. SOCKET SCREW_M12*	VARIANTE D	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
A	06/07/2016	HEX. SOCKET SCREW_M12*	VARIANTE B	COMPLAINT:CAMPAÑA S	8*4	CHH-XHIG
A	22/11/2016	GASKET_M16*16	VARIANTE A	COMPLAINT:CAMPAÑA S	8*4	CHH-HIGH
B	23/05/2016	HEX. SOCKET SCREW_M12*	VARIANTE G	COMPLAINT:CAMPAÑA S	8*4	CHH-XHIG
C	30/03/2016	GASKET KIT	VARIANTE C	COMPLAINT:EJECUCIÓN	6*4	CHH-XHIG
C	10/10/2016	HEX. SOCKET SCREW_M12*	VARIANTE B	COMPLAINT:CAMPAÑA S	8*4	CHH-XHIG
B	15/03/2016	HEX. SOCKET SCREW_M8*6	VARIANTE B	COMPLAINT:S0209 *CAM	6*4	CHH-HIGH
B	13/05/2016	FLANGE SCREW_M10*30	VARIANTE D	COMPLAINT:	6*4	CHH-XHIG
B	11/05/2016	HEX. SOCKET SCREW_M12*	VARIANTE G	COMPLAINT:CAMPAÑA S	6*4	CHH-XHIG
B	08/08/2016	GASKET_M16*16	VARIANTE G	COMPLAINT:	6*4	CHH-HIGH
B	03/08/2016	GASKET KIT	VARIANTE F	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
A	15/09/2016	FLANGE NUT_M14*22.9	VARIANTE F	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
C	12/05/2016	FLANGE SCREW_M10*30	VARIANTE A	COMPLAINT:CAMPAÑA S	6*4	CHH-XHIG
C	12/05/2016	GASKET KIT	VARIANTE A	COMPLAINT:	6*4	CHH-HIGH
A	23/11/2016	GASKET_M16*16	VARIANTE E	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
B	02/12/2016	GASKET_M16*16	VARIANTE F	COMPLAINT:CAMPAÑA D	8*4	CHH-XHIG
C	13/06/2016	FLANGE SCREW_M16*140	VARIANTE F	COMPLAINT:S0209 *CAM	6*4	CHH-HIGH
B	16/02/2016	FLANGE SCREW_M10*30	VARIANTE F	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
B	15/02/2016	FLANGE SCREW_M10*30	VARIANTE A	COMPLAINT:CLIENTE: M	6*4	CHH-XHIG
B	21/07/2016	GASKET KIT	VARIANTE F	COMPLAINT:	6*4	CHH-XHIG
A	16/02/2016	FLANGE LOCK NUT_M16*18	VARIANTE A	COMPLAINT:	8*4	CHH-XHIG
A	28/01/2016	CABLE TIE_45	VARIANTE D	COMPLAINT:PÁRA-CHOC	6*4	CHH-XHIG
A	10/11/2016	CABLE TIE_73	VARIANTE D	COMPLAINT:	6*4	CHH-HIGH
A	19/07/2016	CABLE TIE_73	VARIANTE D	COMPLAINT:CAMPAÑA S	6*4	CHH-HIGH
C	11/08/2016	CABLE TIE_73	VARIANTE H	COMPLAINT:	6*4	CHH-XHIG

**Fonte:** O próprio autor

Uma vez carregada a base de dados, o passo 2 foi iniciado. Nesse passo, foram definidos os parâmetros de pesquisa, onde posteriormente é realizada a filtragem dos dados. O primeiro parâmetro foi a plataforma na qual se deseja levantar informações de falhas. Foi escolhida a plataforma mais utilizada pela empresa, onde se registram os maiores índices de reclamação em campo. Dessa plataforma, são desenvolvidas diversas variantes de produtos. Para a escolha de quais variantes de produtos serão analisadas, optou-se por escolher todas. Dessa forma, a pesquisa não estará limitada a nenhuma variante de produtos específica. Na análise de dados, irá constar informações de todos os produtos, incluindo as suas aplicações. Porém, vale lembrar que fica a critério do usuário limitar a sua pesquisa para algumas variantes de produtos.

O próximo filtro diz respeito a quais módulos da plataforma serão analisados. Para efeito de demonstração do método foi escolhido um módulo específico para análise de dados. Dentre os módulos, foi escolhido um que apresentava uma característica bem específica. Ele é o único módulo disponível para todas as variantes de produtos da plataforma escolhida. Ou seja, não existia outro módulo

que pudesse ser utilizado para desempenhar a mesma função. Em todas as aplicações, esse era o único módulo a ser utilizado. A figura 20 mostra uma imagem do módulo escolhido para a demonstração do método. Esse módulo é utilizado para evitar que detritos sejam projetados pelas rodas. É um sistema usado na maioria dos veículos pesados para proteção externa.

**Figura 20** - Módulo utilizado para a demonstração do método



**Fonte:** O próprio autor

A partir da escolha do módulo a ser analisado, há a opção de se filtrar a base de dados por outras características do produto. Através da escolha de outros módulos que sejam relevantes na pesquisa, é possível se filtrar por características específicas da família de produtos. No exemplo do módulo utilizado para a demonstração, por se tratar de uma plataforma de veículos, pode-se desejar filtrar também por módulo de suspensão, ou tipo de pneu utilizado nos veículos, etc. Essa é uma escolha que vai depender do propósito da análise de dados a ser realizada, e no caso da demonstração aqui apresentada, foram adicionadas as variantes dos módulos de suspensão. O propósito dessa escolha é poder mais adiante utilizar informações dos módulos da suspensão para se extrair as aplicações de uso dos produtos.

Por fim, foi escolhido um período de tempo para a análise de registro de dados. Foram analisados dados dos 6 primeiros meses do ano de 2015. Assim, a base de dados foi filtrada, ficando resumida ao que é apresentado como exemplo ilustrativo no quadro 12.

**Quadro 12** - Base de dados após a realização do passo 2

VEH A	VEH B	PART NAME	VEH I	COM	REAR
HEAVY	20012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	20012015	CAP_REAR FENDER	FH13A62T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	20012015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	22012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	22012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	22012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	22012015	ABSORBER_RUBBER	FH13A64T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	23012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	23012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	23012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	23012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	23012015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	26012015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	03022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	03022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	06022015	CAP_FRONT FENDER	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	09022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	12022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	12022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	13022015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	13022015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-AIR
HEAVY	23022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	24022015	MUDFLAP_315	FH13A64T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	24022015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	24022015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	24022015	MUDFLAP_315	FH13A62T	COMPLAI	RSS-LEAF
HEAVY	26022015	MUDFLAP_315	FM13A62T	COMPLAI	RSS-LEAF

**Fonte:** O próprio autor

O passo 3 foi iniciado com a verificação dos resultados. A partir dessa etapa, foi utilizado o software Tableau para a análise de dados. A utilização do software permitiu uma melhor interpretação dos resultados. A tabela 7 mostra o resultado da atividade de verificação de resultados. Os dados foram alterados de forma a representarem o resultado real em proporção de registros de falhas. Uma vez que foi verificado que houve registros de falhas, o método seguiu para a opção Com ocorrência de falhas.

Durante a atividade de verificação dos componentes, foi possível observar que o componente H apresentou o maior número de falhas. O componente A foi o segundo com maior registros de falhas. O restante dos componentes apresentaram

o mesmo nível de registros de falhas dentro do período analisado. Com essa primeira análise feita, foi possível identificar os componentes do módulo escolhido que apresentaram maiores índices de reclamação de cliente.

**Tabela 7** - Resultado da atividade de verificação dos resultados

Componente	Número de registros
COMPONENTE B	1
COMPONENTE C	1
COMPONENTE F	1
COMPONENTE G	1
COMPONENTE E	7
COMPONENTE A	17
COMPONENTE H	103

**Fonte:** O próprio autor

Com os componentes identificados, o método seguiu para o passo 4. Na primeira atividade foi aplicado o critério DFMEA, para o levantamento das ocorrências de falha para cada um dos componentes. Como já explicado anteriormente, foi estabelecido um valor mínimo de avaliação da ocorrência de falhas. A partir desse valor as peças seriam analisadas. De acordo com os critérios utilizados no DFMEA, as ocorrências de falhas ocasionadas pelas incertezas de uma nova aplicação estariam correlacionadas a esse valor mínimo.

Sendo assim, os registros de ocorrências de falhas apresentados na figura acima foram comparados com o volume de produção. Relembrando o cálculo do critério da ocorrência da causa, esse é realizado através da divisão da quantidade de vezes que uma falha ocorreu em um determinado componente, pelo volume de produção das variantes de produto no período analisado. Tomando como exemplo o componente H, tendo o número de registro de falhas no período pesquisado de 103, basta verificar o volume de produção de produtos onde esse componente é utilizado. Esse dado pode ser adquirido através dos registros de vendas internas da empresa. No caso do exemplo, foi pesquisado o volume comercializado de produtos da plataforma no mesmo período de tempo da pesquisa, sendo que o componente H

apresentou para o critério de ocorrência da causa um valor de 4%. Sendo assim, obteve uma avaliação de 8.

Fazendo a mesma análise nos demais componentes, nenhum apresentou uma avaliação igual ou maior do que 8. Dessa forma, somente o componente H do módulo continuará a ser analisado pelo método. O restante dos componentes se enquadram na opção `critério menor que 8`, onde não há ação de engenharia.

Assim, o passo 5 foi iniciado com o levantamento das aplicações. Durante essa atividade, foi encontrada a melhor forma para se levantar os tipos de aplicação de produto. Muitas empresas caracterizam os seus mercados através das aplicações de seus produtos. No caso da empresa parceira, por se tratar de veículos pesados, a caracterização das aplicações está fortemente relacionada as condições das rodovias.

Podemos observar na figura 21, três diferentes classificações de aplicação de produtos voltados a veículos pesados. Na figura 21a, temos uma aplicação de produto considerada leve devido as boas condições da estrada. Nessa condição, considera-se que os módulos não apresentem altos índices de falhas de componentes, devido as boas condições de uso. Na figura 21b, temos uma condição intermediária, ou uma aplicação média. Nesse tipo de aplicação, o veículo está submetido a uma condição de uso pior do que a de uma aplicação leve. É esperado um índice de falha um pouco maior. Na terceira e última classificação, temos a condição mais severa de aplicação, como pode ser observado na figura 21c. Nessa condição, o veículo pode apresentar maiores índices de falhas, ocasionando mais problemas de qualidade. É a pior condição possível dentro das classificações das aplicações.

Para o exemplo de demonstração, as 3 condições de aplicação mostradas na figura 21 foram utilizadas. Uma vez estabelecidas as diferentes aplicações, foi preciso encontrar uma forma de classificar as ocorrências de falhas por aplicação. Da forma em que a base de dados é levantada, essa informação não fica evidente para o usuário. Assim, foi preciso buscar classificar as aplicações a partir das características de projeto dos demais módulos da plataforma. Como mostrado no passo 2, quando se estabelecem os filtros de pesquisa, podemos considerar outros módulos relevantes. Esses módulos não precisam ser necessariamente o módulo que é objeto de estudo, mas de alguma forma podem ajudar a nos trazer mais



informações. Naquele momento foi escolhido o módulo de tipos de suspensão traseira, isso porque esse módulo nos ajuda a classificar as aplicações.

**Figura 21** - Aplicações considerando as condições das rodovias



**Figura 21a** - Aplicação leve



**Figura 21b** - Aplicação média



**Figura 21c** - Aplicação severa

**Fonte:** O próprio autor

Cada tipo de suspensão traseira utilizada pela empresa é focada em uma das 3 aplicações classificadas pela figura 21. Dessa forma, o tipo de suspensão é um indicativo de onde o produto está sendo usado. Buscou-se dentro da base de dados realizar um levantamento do tipo de suspensão de cada produto. Após o levantamento dessa informação, as aplicações foram classificadas de acordo com a suspensão utilizada por cada veículo. A partir da classificação das aplicações, foi possível realizar a atividade de verificação da ocorrência de falhas por aplicação. A tabela 8 mostra como ficaram distribuídos os registros de falha para o componente H, de acordo com o tipo de aplicação.

**Tabela 8** - Ocorrências de falhas por aplicação de produto

Componete	Severidade Da Aplicação	Número de registros
COMPONENTE H	LEVE	45
	MÉDIA	58

**Fonte:** O próprio autor

Na tabela 8 é possível observar que as 103 falhas registradas no período ficaram distribuídas entre aplicações leves e médias. Uma primeira análise nos permitiu observar que não houveram falhas registradas para aplicação de produto classificadas como severa. Uma vez que há registro de vendas para produtos classificados para aplicação severa, o fato de não haver falhas do componente H nessa aplicação nos leva a primeira conclusão da análise de dados. A severidade de aplicação de produto, pode não corresponder ao mesmo nível de severidade para alguns componentes. Como já mencionado durante a apresentação do método, a classificação de aplicação de produto pode não corresponder a classificação de severidade para o módulo. No caso de demonstração, poderia se esperar que o componente H fosse apresentar maiores registros de falha na aplicação severa, porém não foi o que ocorreu.

Pode-se expandir a análise da tabela anterior para cada variante de produto. A tabela 9 mostra o número de ocorrência de falhas para cada variante de produtos, considerando as diferentes aplicações. Na figura, observamos que a variante B apresentou o maior número de ocorrências de falhas, estando concentradas na

aplicação média. Enquanto isso, a variante de produtos A apresentou o maior número de ocorrências na aplicação leve.

**Tabela 9** - Ocorrências de falhas por variantes de produtos

Componete	Severidade Da Aplicação	Variante De Produto	Número de registros
COMPONENTE H	LEVE	Variante A	44
		Variante E	1
	MÉDIA	Variante B	57
		Variante C	1

**Fonte:** O próprio autor

Observando a tabela acima, podemos tirar como conclusão que a variante A e B são as mais influentes na ocorrência de falhas para o componente H. Dessa forma, essas duas variantes podem ser utilizadas para futuras ações de validação de correção do componente.

Assim, o passo 5 foi finalizado para o componente H. O próximo passo iniciou com a leitura de cada um dos 103 registros de falhas. A leitura dos registros de falha foi realizada, onde duas informações foram extraídas durante o processo de leitura. A primeira foi a filtragem das palavras-chave que determinam a falha e a segunda diz respeito a aplicação do critério de severidade de falha, segundo o DFMEA. Para a extração da palavra-chave de cada um dos registros, buscou-se identificar a palavra que mais caracterizava a falha ocorrida. O quadro 13 mostra alguns exemplos extraídos da base de dados.

Como já explicado, a extração das palavras-chave depende de como o registro de falhas foi escrito. Como não há um padrão de redação do registro por parte dos técnicos de manutenção, cada registro de falha contém informações diferentes. A escolha da palavra-chave que mais caracteriza a falha é uma escolha do usuário do método. O importante é que ao final dessa etapa, o usuário consiga extrair palavras que façam sentido, de forma a identificar o que aconteceu no componente em questão. Um ponto interessante a se destacar aqui, é que mesmo não havendo um padrão de registro de falhas, as palavras-chave acabam se repetindo ao longo da base de dados. Ou seja, os técnicos acabam usando palavras-chave similares no seu registro de falhas.

O quadro 13 mostra um exemplo de extração de palavras-chave do registro de falhas para o caso aqui apresentado na demonstração. Os registros foram editados de forma a manter o sigilo de informações da empresa. De qualquer forma procurou-se não descaracterizar a informação contida no registro de falhas. Ao final dessa etapa foram encontradas 7 diferentes palavras-chave.

**Quadro 13** - Extração das palavras-chave do registro de falhas

Registro de falha	Palavra-chave
CLIENTE ALEGA QUE COMPONENTE H ESTA <b>RASGADO</b> . VERIFICADO QUE OS COMPONENTES DE BORRACHA DO COMPONENTE H ESTAO COM DESGASTE. SUBSTITUIDO COMPONENTE H	RASGO
CLIENTE RECLAMA QUE COMPONENTE H ESTA COM VIBRAÇÃO. FOI CONSTATADO QUE OS BATENTES DA PEÇA DO COMPONENTE H ESTAO COM <b>RACHADURA</b> .	RACHADURA
COMPONENTE H DA PEÇA TRASEIRA RASGADOS. OS DOIS COMPONENTES H DA PEÇA TRASEIRA ESTÃO CORTADO ONDE_SAO FIXADOS E NAO PERDEU PARTE DA PEÇA DE UM DOS_DOS LADOS. CONDUTOR AMARROU POIS A <b>TRINCA</b> DESCEU QUASE ATE_O FINAL DA PEÇA. NAO ENCONTRADO AVARIA QUE PUDESSE TER_PROVOCADO A FALHA. FORAM SUBSTITUIDS OS COMPONENTES H DA PEÇA TRASEIRA DOS DOIS LADOS.	TRINCA
COMPONENTE H DA REGIÃO TRASEIRA <b>TRINCADO</b> . O COMPONENTE H DO LADO DIREITO TRINCADO NA FIXACAO. SUBSTITUIDO O COMPONENTE H DO EIXO TRASEIRO LADO DIREITO	TRINCA
COMPONENTE H DA REGIÃO TRASEIRA <b>PERDEU</b> PARTE NA ESTRADA. COMPONENTE H DA REGIÃO TRASEIRA DO LADO DIREITO_TRINCOU E_PARTE MAIOR PERDEU NO TRAJETO_RESTOU APENAS A PARTE_QUE FIXA FIXA NA PEÇA J.	PERDA
CLIENTE ALEGA QUE O COMPONENTE H ESTA <b>PARTIDO</b> . VERIFICADO QUE AS PEÇAS DE BORRACHA DO COMPONENTE H NA REGIÃO TRASEIRA ESTAO COM DESGASTE. SUBSTITUIDA A PEÇA COM BATENTE.	PARTIDO
CLIENTE RECLAMA QUE O COMPONENTE H L/E RASGOU E_ <b>PERDEU</b> . CAUSA: MATERIAL PARTIDO/ RASGOU_CORRECAO: APLICADA NOVA PEÇA	PERDA

**Fonte:** O próprio autor

Podemos verificar na tabela 10 todas as palavras-chave encontradas ao final da leitura dos registros, bem como o número de ocorrência de cada uma delas considerando o componente H. Quando combinadas no mesmo quadro com as diferentes aplicações, as palavras-chave trazem a informação do modo de falha ocorrido para cada uma das aplicações. Observamos que a aplicação média apresentou um número de ocorrências levemente maior quando comparada a

aplicação leve. As palavras que mais caracterizaram as falhas para o componente H foram trinca e rasgo respectivamente. A palavra quebra apresentou uma alta ocorrência para a aplicação média, mostrando que essa aplicação causa um maior impacto negativo em termos de qualidade, quando o modo de falha está relacionado com a quebra do componente.

**Tabela 10** - Resumo das Palavras-chave encontradas por aplicação

Componente	Palavra-chave	Aplicação	
		LEVE	MÉDIA
COMPONENTE H	FRATURA		1
	PARTIDO		3
	PERDA	4	2
	QUEBRA	6	13
	RACHADURA	1	1
	RASGO	15	19
	TRINCA	19	19

**Fonte:** O próprio autor

A segunda informação extraída durante a leitura dos registros de falha foi o índice de severidade de falha, usando os critérios do DFMEA como base. O estabelecimento de um índice de severidade de falha, ajudou a inserir na análise de um dado qualitativo a respeito do efeito da falha para o cliente. Foi um dado muito importante, pois auxiliou na tomada de decisão sobre o nível de intervenção final no componente H. A tabela 11 mostra um comparativo da ocorrência dos índices de severidade encontrados para cada aplicação, considerando o critério DFMEA apresentado no passo 6 da apresentação do método.

**Tabela 11** - Índice de severidade por aplicação

Componente	Índice de Severidade	Aplicação	
		LEVE	MÉDIA
COMPONENTE H	3	12	22
	6	31	30
	8	2	6

**Fonte:** O próprio autor

Observamos na tabela que o índice 6 foi o que apresentou uma maior ocorrência nos registros de falha para o componente H, ficando bem distribuído entre as aplicações leve e média. Esse índice corresponde a um efeito moderado no componente e causa uma insatisfação do cliente. Apesar do veículo ainda apresentar uma operacionalidade, há um impacto de imagem negativo a respeito do produto. O segundo maior nível de ocorrência está relacionado ao índice 3 e possui um efeito menor no nível de insatisfação do cliente.

O índice 8 apresentou poucos registros de ocorrência. Apesar da pouca quantidade, apresenta um alto efeito negativo em termos de qualidade no produto e gera um alto nível de insatisfação. A aplicação média gera um impacto maior quando o índice de severidade é 3 ou 8. De alguma forma essa aplicação não ocasiona uma distribuição heterogênea quando o índice é 6. Uma possibilidade é que os modos de falha, que causam esse índice são bem distribuídos entre as duas aplicações. Se observarmos novamente a tabela 10, as palavras-chave mais predominantes são trinca e rasgo, sendo que essas duas palavras estão relacionadas ao modo de falha e apresentam uma distribuição homogênea entre as duas aplicações.

Ao final, a etapa 6 foi concluída. A última etapa corresponde a uma análise detalhada dos dados para posteriormente se definir a melhor estratégia de ação de engenharia. A primeira atividade da etapa 7 correspondeu a analisar para quais as variantes de produtos, uma estratégia de engenharia deveria ser definida para o componente H. Uma vez que esse componente precisaria de uma intervenção, com o objetivo de diminuir o seu número de ocorrência de falha em campo, foi preciso definir se seria uma intervenção para todos as variantes de produto ou não. Para tanto agrupou-se em um único quadro todas as informações levantadas até aquele momento durante a análise de dados.

A tabela 12 mostra um sumário de como ficou o quadro de informações final combinado por variante de produto. Para o componente H, a variante de produto B é a que apresenta o maior número de ocorrência de falhas, seguida pela variante A. As palavras-chave trinca e rasgo são as que mais apareceram nos registros caracterizando os modos de falha. O índice de severidade 6 é o que mais foi considerado como critério de severidade de falha. Como já mostrado anteriormente, as aplicações consideradas como leve e média foram as que mais apresentaram ocorrência de falhas.

Como foco de uma ação de engenharia para melhorar o desempenho em campo do componente H, deve-se considerar as variantes de produto B e A respectivamente. Por exemplo, essas duas variantes poderiam ser utilizadas como meio de validação física de um novo componente H.

**Tabela 12** - Sumário das informações levantadas na análise de dados

Componente	Índice de Severidade	Palavra-chave	Variante de Produto / Aplicação			
			VARIANTE A LEVE	VARIANTE B MÉDIA	VARIANTE C MÉDIA	VARIANTE E LEVE
COMPONENTE H	3	PERDA			2	
		QUEBRA			3	
		RACHADURA	1	1		
		RASGO	7	8		
		TRINCA	4	8		
	6	FRATURA			1	
		PARTIDO			3	
		PERDA	4			
		QUEBRA	5	10		
		RASGO	7	8	1	1
	8	TRINCA	14	7		
		QUEBRA	1			
		RASGO		2		
		TRINCA	1	4		

**Fonte:** O próprio autor

Para o caso de demonstração, foi optado por substituir o componente H do módulo. Como já apresentado, o módulo aqui utilizado na demonstração do método é único dentro da família de produtos que são derivados da plataforma em análise. Apesar disso, o componente H desse módulo possui outras opções similares dentro da plataforma de produtos. Ou seja, o componente H funciona como uma espécie de módulo dentro do módulo principal. Sendo assim, ficou definido como estratégia de engenharia a substituição do componente H por outro já desenvolvido, onde se

espera melhores resultados em termos de qualidade. Como apresentado no tópico 4.1.7, se considerarmos o módulo principal utilizado na demonstração, a ação de engenharia tomada corresponde a opção 1 que é reforçar ou melhorar a solução atual.

Apesar de somente as variantes A e B apresentarem as maiores ocorrências de falha em campo para o componente H, foi decidido fazer a alteração para todas as variantes. Essa decisão teve como base a diminuição do estoque de diferentes componentes na fábrica. Dessa forma, a estratégia tomada em conjunto com outras áreas procurou beneficiar não só uma solução técnica mais robusta, como também um menor custo de armazenagem de diferentes peças.

Por fim, a substituição foi realizada, tendo como base de decisão a análise de dados aqui apresentada. Após a realização da substituição do componente H por outro mais reforçado, o método foi refeito considerando um período de tempo posterior a data de introdução da nova solução. Nesse caso, foi usado o período de tempo de 6 meses do ano de 2018. Verificou-se que o número de ocorrências diminuiu, sendo que durante o passo 4 do método não foram encontradas ocorrências de falha com avaliação maiores do que 8. De qualquer forma, para efeito de informação, a tabela 13 mostra como ficou a distribuição de ocorrências de falha para o novo modelo do componente H.

É interessante observar que após a nova análise de dados, a aplicação de produto classificada como severa começou a ter um maior peso no registro de falhas. As maiores ocorrências de falhas estão agora centralizadas no índice de severidade 3, porém manteve o mesmo modo de falha caracterizado pela palavra-chave trinca. Assim, apesar da novo componente H melhorar o desempenho como um todo do módulo considerado na demonstração, houve uma alteração quanto a aplicação que mais afeta o componente. Uma explicação é que o novo projeto do componente H seja mais sensível a essa aplicação.



**Tabela 13** - Análise de dados após ação de melhoria

			Variante de Produto / Aplicação		
			VARIANTE B		
Componente	Índice de severidade	Palavra-chave	LEVE	MÉDIA	SEVERA
COMPONENTE H	3	CONFERIR	1		
		TRINCA			10
	6	DANIFICADO		1	

**Fonte:** O próprio autor

Dessa forma, foi finalizada a etapa de demonstração do método. O próximo passo foi realizar uma avaliação do método perante a equipe de projetos da empresa parceira. Os detalhes da forma de avaliação bem como os resultados serão apresentados no próximo tópico.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DO MÉTODO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após o processo de demonstração do método na empresa parceira, foi realizada uma avaliação do método dentro de um grupo de engenharia de desenvolvimento de produtos. A avaliação foi feita através de um questionário, criado no Google Forms. A proposta da avaliação era verificar a funcionalidade do método segundo os critérios de operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso. A operacionalidade diz respeito ao funcionamento adequado do método, a eficiência está atrelada a rapidez e o quão direto o método se propõe a ser. O critério de generalidade busca saber qual a amplitude de aplicação, e a facilidade de uso tem como objetivo avaliar a complexidade do método.

Sendo assim, a primeira atividade foi realizar uma apresentação do método para um grupo de 9 funcionários. O grupo faz parte do time de engenharia de desenvolvimentos de produtos da empresa parceira e é composta da seguinte forma: 1 coordenador de engenharia e 8 funcionários. Sendo que todos os funcionários possuem o cargo de Engenheiro de Desenvolvimento de Produtos. A tabela 14 mostra detalhes do grupo de avaliação.

**Tabela 14** - Grupo de avaliação

Cargo/Profissão	Quantidade de questionários enviados	Quantidade de questionários respondidos	Relação enviados/respondidos
Coordenador de Engenharia	1	1	100%
Engenheiro de Desenvolvimento de Produtos	8	7	88%

**Fonte:** O próprio autor

O pesquisador realizou uma apresentação oral de uma hora a respeito do método, mostrando seus objetivos e limitações de uso. O detalhamento de cada um dos passos foi discutido junto ao grupo, e as dúvidas provenientes dos participantes foram respondidas pelo pesquisador. Ao fim da apresentação, foi mostrado como seria a forma de avaliação do método. O formulário foi liberado para avaliação no dia 31 de Julho de 2019, onde foi pedido aos integrantes do grupo que respondessem o questionário dentro do prazo de 2 semanas.

A estratégia de avaliação escolhida foi através de perguntas objetivas. O conjunto de respostas para cada pergunta estava de acordo com a escala Linkert (1932), estando as perguntas escalonadas entre discordo totalmente a concordo plenamente. Cada uma das 4 perguntas procurou focar em um dos 4 critérios de avaliação segundo o DSR. O quadro 14 mostra o questionário de perguntas aplicado, bem como os critérios relacionados a cada pergunta. Ao final do questionário, foi atribuído um campo onde o avaliador poderia escrever comentários ou sugestões a respeito do método.

**Quadro 14** - Questionário de perguntas e respectivos critérios

Critério	Pergunta	Concordo totalmente	Concordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
Operacionalidade	O método apresentado funciona adequadamente no processo de desenvolvimento de famílias de produtos baseados em plataformas.					
Eficiência	Seguindo o método apresentado, o processo de configuração de plataformas de produtos se torna mais eficiente quando comparado com a forma atual?					
Generalidade	O método pode ser aplicado em outros contextos? Exemplo: Outras plataformas de produtos ou componentes.					
Facilidade de uso	O método é fácil de ser utilizado? De fácil aplicabilidade?					

**Fonte:** O próprio autor

Sendo assim, o questionário foi respondido dentro do prazo pedido pelo pesquisador. Através do resultado da pesquisa, partiu-se para a discussão e considerações a respeito do método.

O primeiro critério avaliado foi o da operacionalidade. Do total de respostas, 87,5% concordam parcialmente, enquanto o restante concorda totalmente que o método apresentado funciona adequadamente no processo de desenvolvimento de família de produtos baseados em plataformas. Conforme reportado durante o *workshop* de apresentação, os participantes identificaram que o método tem um bom funcionamento, quando comparado com a forma atual de buscar informações de falha em campo.

A avaliação da eficiência mostrou que metade dos participantes concordam totalmente que o método proposto é mais eficiente do que a forma atual de configuração de plataformas de produtos. A outra metade concorda parcialmente. Vale aqui lembrar que hoje na empresa parceira não há uma forma estruturada, dentro da engenharia de desenvolvimento de produtos, de se avaliar o desempenho dos módulos de plataformas de produtos em diferentes aplicações. A forma atual de se fazer tal avaliação é totalmente dependente de informações de outras áreas. Informações essas que muitas vezes não estão documentadas e dependem do conhecimento individual de pessoas de diferentes áreas. Dessa forma, o alto índice positivo de avaliação retrata o reconhecimento do grupo avaliador quando diante de um novo método disposto a tornar esse processo mais rápido e eficiente.

No que diz respeito a generalidade, a quantidade de participantes que concordam totalmente caiu para 37,5%. Esse é o mesmo valor para os que concordam parcialmente e os que não concordam nem discordam representam 25%. Esse critério chamou bastante a atenção do grupo avaliador, pois apesar de ser apresentado em uma empresa do ramo automotivo, o pesquisador enfatizou perante o grupo que o mesmo método poderia ser usado em outras indústrias de bens de consumo. Essa é a generalidade que o método se propõe, de não somente servir para a indústria automotiva mas também de outros bens de consumo. Alguns integrantes do grupo avaliador questionaram se isso realmente era viável, visto que a maioria do grupo não tem experiência em outros ramos da indústria. Isso gerou algumas dúvidas a respeito da generalidade, porém o resultado final da avaliação apresenta um valor alto de concordância.

O último critério é referente a facilidade de uso. Para a pergunta relacionada a esse critério, 37,5% dos participantes concordam totalmente e 50% concordam parcialmente de que o método é fácil de ser utilizado. Outros 12,5% não concordam nem discordam de tal afirmação. Apesar do método ter sido desenvolvido tendo como um dos focos a facilidade de uso, ainda sim os participantes encontraram alguma dificuldade de uso inicial. Isso é totalmente esperado quando se implementa uma nova ferramenta de trabalho. Os usuários estão acostumados com a forma atual de se buscar informações de desempenho de módulos de plataforma. Apesar da forma corrente ter pouca eficiência quando comparada com o método proposto, ainda sim os usuários necessitam de um tempo maior de adaptação ao novo método. Diante das boas avaliações que os próprios usuários pontuaram a respeito dos benefícios do novo método, os problemas iniciais de adaptação não foram suficientes para impedir a sua boa aceitação.

Segundo os resultados da pesquisa, o método obteve uma boa pontuação final. Isso comprova que o método foi bem aceito perante o grupo avaliador e que entregou o que se propôs a entregar, no que diz respeito aos benefícios de se usar o método durante o processo de desenvolvimento de produtos. Os questionamentos e sugestões que foram levantados pelo grupo avaliador foram muito pertinentes também. Entre as sugestões estão a automatização do processo de análise de dados. Esse é um ponto considerado pelo pesquisador em trabalhos futuros, onde um sistema automatizado de avaliação de desempenho dos módulos poderia ser criado.

Outros comentários ou sugestões levantadas dizem respeito a inserir uma avaliação de custo como fator de decisão na estratégia de engenharia. O método aqui apresentado não teve como objetivo direcionar nenhuma ação de engenharia voltada a custo. A proposta é usar o método para identificar onde os problemas de campo ocorrem, levando como principal fator o impacto em qualidade de produto proveniente das diferentes aplicações de uso. Uma vez que o método tenha sido aplicado a determinado módulo ou componente, há a possibilidade de se criar uma forma de se definir as melhores ações de engenharia, considerando por exemplo custo como o principal fator. Para o trabalho aqui apresentado, a opção de envolver custos não foi considerada, porém é uma possibilidade futura de implementação.

De forma geral o método obteve uma boa aceitação pelo grupo avaliador. A sua constante utilização dentro da indústria irá permitir o seu melhor entendimento bem como abrirá possibilidades de adaptações e atualizações. O importante é que a pesquisa mostrou a sua utilidade, quando comparado as ferramentas disponíveis atualmente na empresa parceira. Diante disso, o método atingiu o objetivo de ser apresentado e avaliado em uma empresa parceira.

## 5 CONCLUSÃO

Os mercados estão se tornando cada vez mais um desafio para as empresas. Novas demandas de mercado vem surgindo, fazendo com que as empresas olhem para os consumidores como grupos heterogêneos de indivíduos, que possuem diferentes níveis de exigência para os seus produtos. A economia de escala, proveniente de produtos padronizados não é mais a melhor opção de oferta de produtos, assim como a forte customização ou personalização de produtos se torna economicamente inviável para as companhias. Assim sendo, as plataformas de produtos se tornaram as melhores opções em oferecer ganhos de volume ao mesmo tempo que se faz necessária a customização de produtos.

Diante dessa realidade, o presente trabalho se mostrou bastante relevante. Durante a revisão bibliográfica, não foi encontrado nenhum artefato similar que pudesse servir como processo de apoio ao processo de desenvolvimento de produtos. No que diz respeito ao diagnóstico da eficiência da configuração de plataformas de produtos, o método desenvolvido mostrou que é viável se usar uma base de dados formada a partir de registros de reclamação de campo. Essa base de dados, torna mais confiável a análise da eficiência da configuração da plataforma de produtos, pois usa como base de análise de dados os registros reais de diferentes mercados e aplicações.

As diferentes aplicações e seus impactos em cada uma das variantes de produto é uma das informações mais importantes geradas a partir da base de dados. Como mencionado, as diferentes aplicações influenciam no desempenho dos módulos da plataforma. O método foi capaz de usar as informações das diferentes aplicações de produto, como um fator chave para auxiliar o time de projeto a tomar decisões estratégicas de ações de melhoria nos produtos.

Um outro benefício do método está relacionado a usar os índices de severidade de falha como forma de se quantificar as falhas reportadas pelos clientes. O aproveitamento dos mesmos critérios utilizados no DFMEA ajudou a tornar o método mais fácil de ser utilizado. O uso de um critério altamente difundido na indústria também ajuda na eficiência, uma vez que torna o método mais rápido de ser entendido. O método cruza os dados de índice de severidade e diferentes aplicações, propiciando um melhor entendimento de onde as falhas estão acontecendo e qual o impacto para o cliente. Considerando que um mesmo módulo

pode ser usado em diversas variantes de produto, esse cruzamento de informações é fundamental para poder se direcionar as ações de melhoria.

A fase de demonstração do DSR foi muito importante para a validação do método em um ambiente real de aplicação. Durante essa fase, um grupo de engenharia da empresa parceira pode conhecer o método e verificar se ele atingia os seus objetivos propostos. O método foi aplicado em um caso real, considerando um módulo de uma plataforma já desenvolvida pela empresa. Ao final da demonstração foi de comum acordo que o método era capaz de auxiliar o time de projetos em uma configuração mais eficiente da plataforma de produtos. Essa conclusão pode ser comprovada na etapa de avaliação.

Na fase de avaliação, foi escolhido um grupo de engenheiros de produto para avaliar o método segundo os critérios estabelecidos pelo DSR. Os critérios eram referentes a operacionalidade, eficiência, generalidade e facilidade de uso. A respeito da operacionalidade, a grande maioria dos avaliadores consideram o método funciona adequadamente. As respostas mostraram que o método atende as expectativas do grupo de engenheiros. O segundo critério referente a eficiência, também teve uma alta taxa de concordância com a pergunta de pesquisa. Nesse aspecto, o grupo considera que a forma proposta de se diagnosticar a eficiência da configuração da plataforma de produtos é mais rápida e direta quando comparada a maneira atual. O critério de generalidade teve um alto nível de concordância total, porém menor do que os outros critérios. Ainda sim, a maioria do grupo concorda que o método pode ser aplicado a diversos módulos e plataformas de veículos. Por fim, no critério de facilidade de uso a grande maioria do grupo concorda que o método é simples de ser utilizado.

Algumas oportunidades de pesquisa futura foram levantadas. Como já mencionado anteriormente, há a possibilidade de se automatizar o método. Para que isso seja feito de uma forma mais eficiente, é necessário se desenvolver um programa de computador capaz de realizar todo o processo. Dessa forma, o usuário teria menos trabalho manual quando comparado ao método aqui apresentado. Outra oportunidade é de se implementar um fator de custo de falha. É um dado que também pode ser resgatado na base de dados. Apesar do trabalho aqui apresentado não estar focado no custo de falha, é uma informação que pode ser incrementada no método.

Dessa forma, o trabalho de pesquisa mostrou a sua relevância. A última etapa a ser concluída do DSR é a comunicação dos resultados. Uma parte está sendo feita através da defesa dessa dissertação e será finalizada com uma publicação de artigo científico.



## REFERÊNCIAS

- ABBAS, M.; ELMARAGHY, H. Co-platforming of products and assembly systems. **Omega (United Kingdom)**, v. 78, p. 5–20, 2018.
- AKEN, J. E. VAN. **21-Management research based on the paradigm of the design sciences- The quest for field-tested and grounded technological rules**. February 2001, 2004.
- ARNHEITER, E. D.; HARREN, H. **Quality management in a modular world**. The TQM Magazine, v. 18, n. 1, p. 87-96, 2006.
- Automotive Industry Action Group (AIAG)**. 2019. Disponível em: < <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools/fmea>>. Acesso em: 12 jun. 2019.
- BALDWIN, C. Y.; CLARCK, K. B. **Design rules**. MIT Press, Cambridge, 2000.
- BEN-ARIEH, D.; EASTON, T.; CHOUBEY, A. M. Solving the multiple platforms configuration problem. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 7, p. 1969–1988, 2009.
- BOBREK, M.; SOKOVIC, M. Implementation of APQP-concept in design of QMS. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 162–163, n. SPEC. ISS., p. 718–724, 2005.
- BONAT, D. **Metodologia da pesquisa**. 3 ed. Curitiba: IESDE BRASIL SA, 2009. 139p.
- BOUGAIN, S.; GERHARD, D. Integrating Environmental Impacts with SysML in MBSE Methods. **Procedia CIRP**, v. 61, p. 715–720, 2017.
- BURSAC, N.; ALBERS, A.; SCHMITT, T. Model Based Systems Engineering in Modular Design-A Potential Analysis using Portal Type Scraper Reclaimers as an Example. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 802–807, 2016.
- DAVIS, S. M. **From “future perfect”: Mass customizing**. Planning Review, v. 17, n. 2, p. 16-21, 1987.
- DURAY, R. et al. Approaches to mass customization: Configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**, v. 18, n. 6, p. 605–625, 2000.
- ELMARAGHY, H. A. Changing and Evolving Products and Systems – Models and Enablers. **Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems**, p. 25–45, 2009.
- FAN, B. et al. A network methodology for structure-oriented modular product platform planning. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 26, n. 3, p. 553–570, 2015.
- FRIEDENTHAL, S.; GRIEGO, R.; SAMPSON, M. **INCOSE MBSE Roadmap**, in

**“INCOSE Model Based Systems Engineering (MBSE) Workshop Outbrief”**. INCOSE International Workshop 2008, Albuquerque, NM, 2008.

GOSWAMI, M.; TIWARI, M. K. A predictive risk evaluation framework for modular product concept selection in new product design environment. **Journal of Engineering Design**, v. 25, n. 1–3, p. 150–171, 2014.

HART, L. **Introduction to model-based system engineering (MBSE) and SysML**. Delaware Valley INCOSE Chapter Meeting, New Jersey, NY, 2015.

HU, S. J. et al. Assembly system design and operations for product variety. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 60, n. 2, p. 715–733, 2011.

HU, S. J. Evolving paradigms of manufacturing: From mass production to mass customization and personalization. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 3–8, 2013.

HUANG, X.; KRISTAL, M. M.; SCHROEDER, R. G. Linking learning and effective process implementation to mass customization capability. **Journal of Operations Management**, v. 26, n. 6, p. 714–729, 2008.

JIAO, J.; TSENG, M. M. Methodology of developing product family architecture for mass customization. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 10, n. 1, p. 3–20, 1999.

JOHANSSON, P. E. C. et al. Multi-variant Truck Production - Product Variety and its Impact on Production Quality in Manual Assembly. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 245–250, 2016.

KIEFER, J.; ALLEGRETTI, S.; BRECKLE, T. Quality- and Lifecycle-oriented Production Engineering in Automotive Industry. **Procedia CIRP**, v. 62, p. 446–451, 2017.

Likert, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, 1932.

LIU, Y.; KIANG, M.; BRUSCO, M. A unified framework for market segmentation and its applications. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 11, p. 10292–10302, 2012.

MACDUFFIE, John Paul; SETHURAMAN, Kannan; FISHER, Marshall L. **Product variety and manufacturing performance: evidence from the international automotive assembly plant study**. *Management Science*, v. 42, n. 3, p. 350-369, 1996.

MARTIN, N. **Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research in Information Technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MEYER, M. H.; LEHNERD, A. P. **The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership**. New York: Free Press, 1997.

MODRAK, V.; MARTON, D.; BEDNAR, S. The influence of mass customization strategy on configuration complexity of assembly systems. **Procedia CIRP**, v. 33, p. 538–543, 2015.

MUFFATTO, M.; ROVEDA, M. Developing product platforms: Analysis of the development process. **Technovation**, v. 20, n. 11, p. 617–630, 2000.

**OMG Systems Modeling Language**. 2018. Disponível em: <<http://www.omgsysml.org/what-is-sysml.htm>>. Acesso em: 05 out. 2018.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PINE, B. J.; DAVIS, S. **Mass Customization: The New Frontier in Business Competition**. Harvard Business School Press, Boston, 1993.

REN, W.; GUAN, Y.; HU, Y. ScienceDirect Research on assembly module partition for flexible production in mass customization. **Procedia CIRP**, v. 00, p. 744–749, 2018.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: 542p, Editora Saraiva, 2006.

SALVADOR, F.; DE HOLAN, P. M.; PILLER, F. **Cracking the code of mass customization**. MIT Sloan Management Review, v. 50, n. 3, p. 71-78, 2009.

SCHUH, G.; BARG, S. **Respective Characteristics Can Equally Be Employed To Compare**. p. 1–12, 2016.

SCHUH, G.; RUDOLF, S.; BREUNIG, S. Modular Platform Design for Mechatronic Systems using Axiomatic Design and Mechatronic Function Modules. **Procedia CIRP**, v. 50, p. 701–706, 2016.

SCHUH, G.; RUDOLF, S.; RIESENER, M. Similarity-based product configuration. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 290–295, 2014.

SCHUH, G.; RUDOLF, S.; VOGELS, T. Performance measurement of modular product platforms. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 266–271, 2014.

SEEPERSAD, C. C.; MISTREE, F.; ALLEN, J. K. A Quantitative Approach for Designing Multiple Product Platforms for an Evolving Portfolio of Products. **Volume 2: 28th Design Automation Conference**, v. 2002, n. February 2016, p. 579–592, 2002.

SIMPSON, T.; JIAO J.; SIDDIQUE Z.; HOLTТА-OTTO K. **Advances in product family and product platform design**. New York: Springer, 2014.

SINHA, K.; SUH, E. S. Pareto-optimization of complex system architecture for structural complexity and modularity. **Research in Engineering Design**, v. 29, n. 1, p. 123–141, 2018.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems**. 2009. Disponível em: <<http://desrist.org/design-research-in-information-systems>>. Acesso em: 17 out. 2018.

VAN DEN BROEKE, M. et al. An efficient solution method to design the cost-minimizing platform portfolio. **European Journal of Operational Research**, v. 259, n. 1, p. 236–250, 2017.

WANG, Y. CIRP Encyclopedia of Production Engineering. n. August 2017, 2017.

WANG, Z. et al. Effects of standardization and innovation on mass customization: An empirical investigation. **Technovation**, v. 48–49, p. 79–86, 2016.

ZESCHKY, M. et al. Coordination in global R&D organizations: An examination of the role of subsidiary mandate and modular product architectures in dispersed R&D organizations. **Technovation**, v. 34, n. 10, p. 594–604, 2014.

## APENDICE A - REPRESENTAÇÃO BPMN COMPLETA DO MÉTODO

