

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

REINALDO VAZ DE LIMA

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE MODO E
EFEITO DE FALHA POTENCIAL NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

GUARAPUAVA

2022

REINALDO VAZ DE LIMA

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE MODO E
EFEITO DE FALHA POTENCIAL NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

Potential Mode and Effects Analysis Applied in Automotive Industry

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. David Lira Nuñez.

GUARAPUAVA

2022



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

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

REINALDO VAZ DE LIMA

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE MODO E
EFEITO DE FALHA POTENCIAL NA INDUSTRIA AUTOMOTIVA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23 de novembro de 2022

Professor Dr. David Lira Nuñez
Membro 1
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aldo Przybysz
Membro 2
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ricardo Vinícius Bubna Biscaia
Membro 3
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, que me guiou e me permitiu chegar a esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Isael e Valdete, que com seus exemplos e ensinamentos me proporcionaram capacidade de aprendizado e desenvolvimento para estar aqui.

Ao meu irmão, Arnaldo, por ser fonte de inspiração e fornecer sábios conselhos.

À minha noiva, Andressa, por todo suporte e apoio para com esta conquista.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. David Lira Nuñez, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A todos que, de alguma forma, contribuíram por esta conquista.

RESUMO

A indústria automotiva nacional corresponde a aproximadamente 20% do PIB dentre as indústrias de transformação e, com a crescente exigência por parte dos consumidores, o setor encontra-se com a demanda de sempre aumentar a qualidade, porém com pouco acréscimo no custo. Aliado ao baixo sucesso dos projetos realizados, as empresas buscam por formas de melhorar seus resultados financeiros no desenvolvimento de produtos e processos da organização, com foco na diminuição do risco e aumento de sua confiabilidade. Nesse contexto, um dos métodos que se destaca é a análise FMEA, cuja identificação e prevenção de potenciais falhas acontece antes de sua ocorrência, focado em prevenir anomalias, ressaltando segurança e acrescentando a satisfação do cliente. Tal ferramenta é amplamente utilizada em indústrias de diversos ramos e em várias fases do ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, o presente trabalho trata do desenvolvimento de uma análise de projeto DFMEA aplicado a um componente de abastecimento automotivo, com o objetivo de levantar as prováveis causas de falhas potenciais, gerando planos de ação para mitigar sua ocorrência, caso esses modos de falhas ocorram. O trabalho foi desenvolvido aplicando a norma SAE J1739 como base e diversos estudos e aplicações do FMEA, inclusive trabalhos voltados para o meio automotivo e sistemas de combustível. Por fim, sugerem-se melhorias ao sistema apresentado, as quais podem ser aplicadas para aumentar a confiabilidade, para que tais componentes não sejam suscetíveis aos possíveis modos de falha identificados com maior número de severidade, ocorrência, detectabilidade e, conseqüentemente, os maiores números de prioridade de risco selecionados. A partir disso, é gerado e aplicado um plano de ação, cujo objetivo é mitigar os riscos das falhas. Por fim, é refeita a FMEA, encontrando o novo valor do RPN para os itens prioritários.

Palavras-chave: FMEA; SAE J1739; Indústria Automotiva.

ABSTRACT

National automotive industry corresponds to approximately 20% of transformation industries GDP and, with the customer growing exigence, this sector faces the demand of always increase quality, but with few implements in costs. Allied with the low success of project development, companies look for a way to improve the financial results of products and processes, focusing on risk reduction and the increase of reliability. In this context, one of the risk investigation methods that stands out is FMEA analysis, in which potential failure prediction and preventing happen before its occurrence, focused on issues preventing, highlighting the security, and adding customer satisfaction. This tool is widely used in several industrial branches and many times in products life cycle. Thus, the following work is about a design DFMEA Analysis development applied on an automotive fueling system, in which one of the objectives is to find probable causes of potential failure modes, generating action plans to mitigate its occurrence and, if the risk mode does occur, its effects. This work was developed applying SAE J1739 standard and several FMEA studies and applications, including works aimed at the automotive and fueling environment. Finally, some system improvements are suggested, which could be applied to improve the component's reliability in sense that they are not susceptible to the probable failure modes identified with the highest number of severity, occurrence, detectability and, consequently, the highest selected risk priority numbers. From that an action plan is generated an applied, which the objective to mitigate risks and failures. Finally, the FMEA is redone, finding the new RPN values to the, previously, mainly items.

Keywords: FMEA; SAE J1739; Automotive Industries.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Contexto de Iniciação do Projeto.....	4
Figura 2 - Fases da Gestão de Projetos	6
Figura 3 - Tipos de FMEA	8
Figura 4 - Interpretação Gráfica da Capacidade dos Processos.....	20
Figura 5 - Veículo Esquemático	23
Figura 6 - Visão Geral de um sistema de combustível.....	24
Figura 7 - Conjunto abastecimento	25
Figura 8 - Exemplo de gargalos do sistema de combustível.....	27
Figura 9 - Abastecimento de combustível através do gargalo.....	27
Figura 10 - Tampa do reservatório de combustível.....	28
Figura 11 - Participação no mercado mundial de tanques de Combustível.....	29
Figura 12 - Reservatório de combustível com formas complexas.....	30
Figura 13 - Incêndios Veiculares por ano.....	30
Figura 14 - Fases do método DSR	33
Figura 15 - Detalhes do ambiente unidade traseira.....	39
Figura 16 - Suporte Linha Combustível VW Polo	43
Figura 17 - Tipo de defletor de calor para reservatório de combustível	45
Figura 18 - Ilustração do teste de impacto traseiro.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de severidade de efeito	18
Quadro 2 - Avaliação de Ocorrência das causas do Modo de Falha	20
Quadro 3 - Detecção para o Controle do projeto.....	22
Quadro 4 - Item 1	38
Quadro 5 - Item 2	40
Quadro 6 - Item 3	41
Quadro 7 - Item 4	42
Quadro 8 - Item 5	43
Quadro 9 - Item 6	44
Quadro 10 - Item 7	45
Quadro 11 - Item 8	46
Quadro 12 - Item 9	48
Quadro 13 - Item 10	49
Quadro 14 - Item 11	50
Quadro 15 - Item 12	51
Quadro 16 - Item 13	52
Quadro 17 - Item 14	53
Quadro 18 - Item 15	54
Quadro 19 - Item 16	55
Quadro 20 - Classificação de criticidade por RPN	56
Quadro 21 - Planos de ação	57
Quadro 22 - Atualização do DFMEA.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Projeto Assistido por Computador (do inglês - <i>Computer Aided Design</i>)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (do inglês - <i>Computer Aided Engineering</i>)
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional (do inglês - <i>Computational Fluid Dynamics</i>)
DET	Detectabilidade
DFMEA	Análise de Modo de Falhas e Efeitos em Projetos (do inglês - <i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>)
DSR	Método de Pesquisa da Ciência de Concepção (do inglês - <i>Design Science Research</i>)
SAE	Sociedade de Engenheiros Automotivos (do inglês - <i>Society of Automotive Engineers</i>)
FMEA	Análise de Modo de Falhas e Efeitos (do inglês - <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
OCC	Ocorrência
PFMEA	Análise de Modo de Falhas e Efeitos em Processos (do inglês - <i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>)
RPN	Número de Prioridade de Risco (do inglês - <i>Risk Priority Number</i>)
SAE	Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (do inglês - <i>Society of Automotive Engineers</i>)
SEV	Severidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo Geral.....	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1	Projeto, Gerenciamento de Projeto e Risco	4
2.1.1	Projeto	4
2.1.2	Gerenciamento de Projetos e Riscos	5
2.2	SAE International.....	7
2.3	Norma SAE J1739: 2009 – FMEA na indústria automobilística	8
2.3.1	Escopo	8
2.3.2	Termos e Definições.....	9
2.3.3	Visão Geral.....	10
2.3.4	FMEA de Projeto - DFMEA	12
2.3.4.1	Tempo de realização:	12
2.3.4.2	Escopo	13
2.3.4.3	Entradas	13
2.3.4.4	Saídas	14
2.3.4.5	Suposições.....	14
2.3.4.6	Procedimento	15
2.4	Sistema de Combustível Automotivo	23
2.4.1	Subsistema Conjunto de abastecimento	25
2.4.1.1	Gargalo.....	26
2.4.1.2	Bocal de abastecimento	27
2.4.1.3	Tampa do reservatório de combustível	28
2.4.2	Subsistema Reservatório	28
2.5	Vazamento de combustível e incêndio veicular	30
2.6	Definição de conceitos	31
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1	Identificação da oportunidade de pesquisa e motivação	33
3.2	Definir objetivos das soluções.....	34
3.3	Concepção e desenvolvimento	34
3.4	Demonstração.....	35

3.5	Avaliação.....	35
3.6	Comunicação	36
4	CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	37
4.1	Modos de falha	38
4.1.1	Item 1	38
4.1.2	Item 2	40
4.1.3	Item 3	41
4.1.4	Item 4	42
4.1.5	Item 5	43
4.1.6	Item 6	44
4.1.7	Item 7	45
4.1.8	Item 8	46
4.1.9	Item 9	48
4.1.10	Item 10	49
4.1.11	Item 11	50
4.1.12	Item 12	51
4.1.13	Item 13	52
4.1.14	Item 14	53
4.1.15	Item 15	54
4.1.16	Item 16	55
4.2	Plano de ação para os maiores valores de RPN.....	56
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A – FOLHA DE TRABALHO DFEMA	66

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é um setor extremamente relevante para a economia brasileira tendo, em anos recentes, representado cerca de 5% do produto interno bruto (PIB) brasileiro e respondendo a pouco mais de 20% do PIB das indústrias de transformação (DAUDT; WILLCOX, 2018). Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea, 2018), no Brasil existem 27 empresas fabricantes de veículos e 446 indústrias de autopeças. Além disso, o setor emprega aproximadamente quinhentas mil pessoas, de forma direta, e cerca de 1,3 milhão de pessoas de forma indireta. Essa indústria conta com uma capacidade instalada de cinco milhões de veículos. Para a Organização Internacional dos Construtores de Automóveis (OICA – do francês *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*) o Brasil é, atualmente, o décimo maior produtor mundial e o oitavo maior mercado consumidor do mundo (OICA, 2018).

Para Porter (2004), uma maior exigência por parte dos consumidores, em relação a produtos com maior qualidade e preços mais baixos, impacta diretamente na necessidade de as organizações reavaliarem suas estratégias, buscando soluções em seus processos e produtos, correndo menos riscos e apresentando melhores resultados econômicos, aplicando, desta forma, recursos mais adequadamente (MENEZES, 2020).

Segundo Sharma e Srivastava (2018), a principal causa de insatisfação de clientes por vezes ocorre devido a falhas inesperadas, as quais conduzem para custos não previstos. Contudo, utilizando-se a análise de risco nos processos, a frequência de falhas pode ser reduzida e suas consequências mitigadas.

Estatísticas da taxa de sucesso dos projetos, demonstrados no trabalho de Paranhos et.al (2016), mostram que projetos bem-sucedidos não são a maioria e, dos 175.000 projetos observados, 31,1% foram cancelados antes de sua finalização e 52,7% custaram 189% mais do que planejado inicialmente. A proporção dos projetos que tiveram algum tipo de falha alcançou os 52,7% e as taxas de sucesso, levando-se em consideração orçamento e o planejamento, representaram apenas 16,2% do total estudado.

Santos et al. (2018) demonstra em seu trabalho que sempre existe probabilidade de acontecerem erros e, por isso, as empresas necessitam de ferramentas que possibilitem a identificação das possíveis causas das falhas e o

tamanho do seu impacto, fornecendo assim evidências de quais são as causas mais críticas para priorizá-las. Algumas causas podem ser apenas iniciais e sem gravidade, enquanto outras tem potencial de consequências catastróficas.

De acordo com o Instituto de Gerenciamento de Projetos (PMI - do inglês *Project Management Institute*), os gerentes de projeto devem ter à sua disposição ferramentas, técnicas e metodologias para auxiliá-los a identificar e eliminar riscos, a fim de reduzir as chances de efeitos negativos e até mesmo falhas (PMI, 2004). Para Paté-Cornell (2002), uma das ferramentas mais abrangentes para determinar prioridades no processo de gerenciamento de riscos é o FMEA (Análise de Efeito e Modo de Falhas – do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*).

O FMEA é um método de identificação e prevenção de problemas antes de sua ocorrência. Focado em prevenir problemas, ressaltando segurança e acrescentando satisfação do cliente. Esta ferramenta é amplamente utilizada em indústrias de diversos ramos e em várias fases do ciclo de vida dos produtos. Uma análise FMEA bem-sucedida permite à equipe identificar potenciais modos de falha, possibilitando evitá-la ou tomando ações para mitigar seus riscos, diminuindo assim o tempo de desenvolvimento e custo (SHARMA; SRIVASTAVA, 2018).

Amplamente utilizado no desenvolvimento de produtos, o FMEA de projeto (DFMEA) pode ser encontrado no trabalho de Milla (2019), em que se desenvolve um sistema de distribuição de palhiço para o modelo de colheitadeira TC57. No trabalho em questão, destaca-se a utilização de uma análise DFMEA para o levantamento dos possíveis modos de falha, a fim de identificar os subsistemas mais críticos.

Também aplicado à indústria automotiva, Paranhos et al. (2016), em seu artigo, realiza um estudo de caso da aplicação do FMEA para o gerenciamento de risco, aplicado a novos projetos de uma indústria automobilística. Mais precisamente, identificando possíveis riscos no processo de montagem dos veículos, com a finalidade de prevenir tais falhas antes de sua ocorrência.

Por fim, para o desenvolvimento de bancos automotivos é necessária uma grande atenção com seus quatro requisitos principais: Estética agradável, segurança, oferecer suporte ao usuário e ser confortável. Para isso, Kolich (2014) utiliza o FMEA de produto em seu trabalho para garantir evidências suficientes em relação a conclusão tomada na elaboração do projeto (KOLICH, 2014).

Pode-se assim identificar que uma análise FMEA aprofundada, bem fundamentada, com ações coerentes e assertivas pode fazer a diferença entre

alcançar os prazos e valores inicialmente estipulados durante o desenvolvimento de um projeto. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal aplicar uma análise DFMEA em conjunto de introdução de combustível de um veículo, aplicado em uma montadora.

1.1 Objetivos

A fim de melhor detalhar a proposta apresentada no presente trabalho, apresenta-se abaixo os objetivos geral e específicos:

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar uma análise de modo e efeito de falha de projeto (DFMEA) em um sistema de abastecimento automotivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o desenvolvimento da análise, utilizar-se-á os seguintes passos:

- Estudar normas e publicações sobre o FMEA e suas variáveis;
- Estudar os principais conceitos abordados na norma SAE J1739;
- Analisar o FMEA de um reservatório de combustível, utilizado em uma indústria automotiva;
- Desenvolver uma análise DFMEA, do conjunto de introdução de combustível, com as melhorias necessárias;
- Validar proposta de FMEA com especialistas da área.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

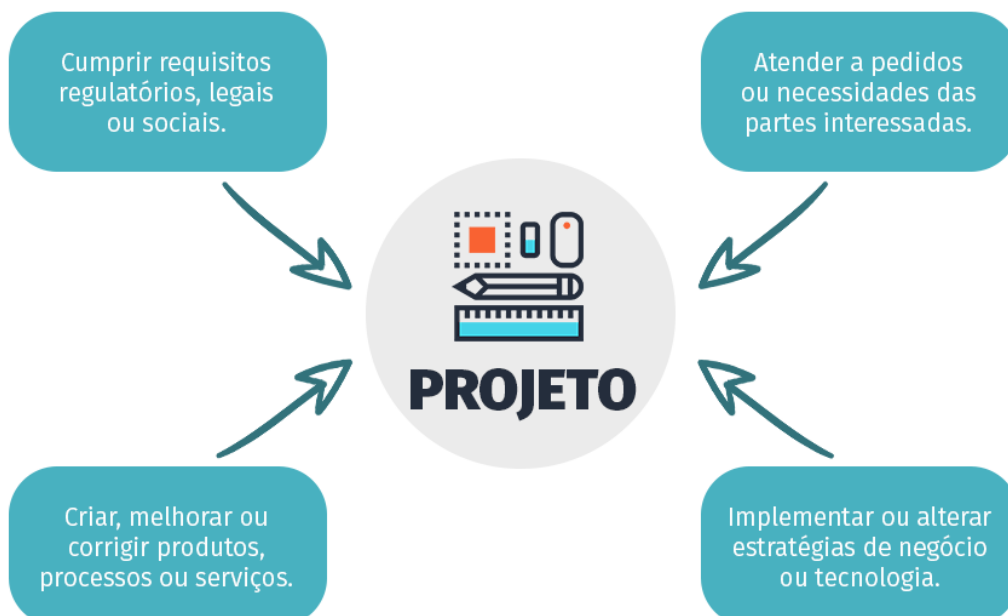
Nesta seção apresenta-se a fundamentação teórica utilizada no presente trabalho. Inicia-se com a definição de projeto, gerenciamento de projeto e risco, passa-se pela apresentação da Associação dos Engenheiros Automotivos (SAE - do inglês *Society of Automotive Engineers*) e seu propósito. Posteriormente, será apresentada a norma SAE J1739, cuja apresentação, descrição, fundamentos e aplicações do FMEA de produto (denominado de DFMEA) será realizada. Em sequência apresenta-se os conceitos relacionados à indústria automotiva, sobre os riscos e perigos envolvendo tal produto e sobre o sistema de reservatório de combustível, componente este que será utilizado no presente trabalho como estudo de caso.

2.1 Projeto, Gerenciamento de Projeto e Risco

2.1.1 Projeto

Segundo o Project Management Institute (PMI, 2017), um projeto é um esforço com prazo determinado, despendido para criar um produto, processo, serviço ou resultado único. Projetos são realizados para alcançar objetivos através da produção de entregas. Os objetivos são definidos como resultados ao qual o trabalho é orientado, um propósito a ser atingido, um produto a ser produzido ou um serviço a ser realizado, conforme ilustrado na Figura 1:

Figura 1 - Contexto de Iniciação do Projeto



Fonte: GEMBA GROUP (2022)

Ou seja, ao fim de um projeto, cumprindo-se todos os objetivos estipulados inicialmente, produz-se um produto único – aprimoramento ou correção de um item – que pode ou não ser componente de um conjunto, um serviço único ou a capacidade de realizá-lo. Sendo assim, pode-se dizer que um projeto tem natureza temporária, deve ter um início e um término definidos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017).

Complementando com a visão de Cleeland (1994), pode-se definir projetos como elementos executores de mudanças nas organizações, que permitem às mesmas sobrevivência e crescimento. Em resumo, os projetos surgem como necessidade, vital para a existência de qualquer empresa.

Existem casos cujos elementos presentes nas entregas dos projetos são repetitivos, porém esta repetição não altera as características exclusivas e fundamentais do projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017). Um bom exemplo é o projeto de instalação de uma mesma caldeira, para produção de energia, em duas empresas, com duas plantas distintas. Parte do produto segue uma repetição, mas cada projeto terá características que o tornam único. Tais como localidade, diferente tamanho e disposição da planta a ser instalada, dificuldades regionais distintas, dentre outras.

Sobre a dimensão de um projeto, segundo o Project Management Institute (2017), os projetos podem ser empreendidos em todos os níveis organizacionais, envolvendo um único indivíduo ou grandes grupos.

2.1.2 Gerenciamento de Projetos e Riscos

O Gerenciamento de projetos é o emprego de habilidades, conhecimentos, ferramentas e técnicas relacionadas ao projeto, com o objetivo de fazer cumprir os seus requisitos. O gerenciamento de projetos permite às organizações executarem cada projeto de forma eficaz (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017).

Da mesma forma, a Associação Brasileira de Gerenciamento de Projetos (2005) define o gerenciamento de projetos como um conjunto de processos de gerenciamento voltados ao planejamento, organização e o controle dos aspectos de um projeto, bem como para a motivação de todos os elementos nele envolvidos, com o intuito de atingir, com segurança e dentro dos prazos, os objetivos.

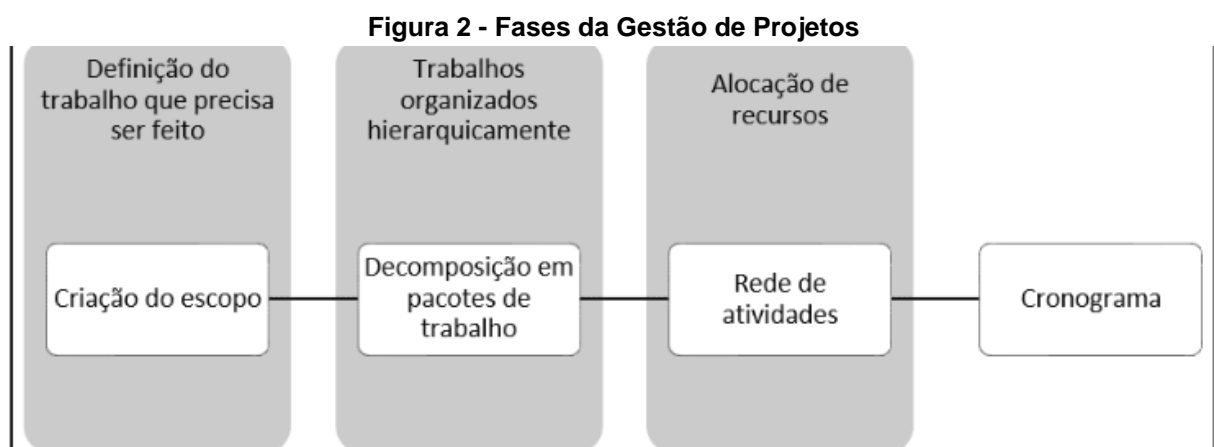
Segundo o Project Management Institute (2017), os objetivos da gestão de projetos são fazer cumprir-se os objetivos do negócio, satisfazendo as expectativas

das partes interessadas. Trazer maior previsibilidade às operações, aumentando assim as chances de sucesso dos empreendimentos, no tempo e momento estipulado, sempre executando a gestão dos riscos. Também faz parte o gerenciamento de restrições: Integração, Escopo, Qualidade, Cronograma, Custos, Recursos Humanos, Comunicação, Riscos e Aquisições, e suas alterações no decorrer do projeto.

Sendo assim, atrelado ao conceito de projeto, existe o conceito de risco, o qual pode ser definido como qualquer evento que pode, totalmente ou parcialmente, indeterminar as chances de sucesso de um projeto (ALENCAR; SCHMITZ, 2005). Para Heldman (2005), riscos são eventos potenciais que podem ser maléficos ou benéficos. Neste sentido, o Project Management Institute (2017) atribui o gerenciamento de risco de eventos positivos bem como de eventos negativos e seus impactos no projeto.

Atualmente os líderes organizacionais necessitam de capacidade para gerenciar orçamentos e prazos cada vez mais apertados, com recursos mais escassos e tecnologia com tremenda velocidade de mudança. Fatores estes que culminam em um ambiente de negócios dinâmico, com um ritmo de mudança acelerado. A única forma de se manter a organização e a competitividade é através do gerenciamento de projetos, entregando valor de negócio de forma constante. (KERZNER, 2016).

Segundo Shenhar e Dvir (2007), dentro da abordagem tradicional, observa-se as fases da gestão de projetos, conforme Figura 2:



Fonte: SHENHAR E DVIR (2007)

Partindo destas etapas, agregam-se outros elementos ao projeto. Pode-se então definir, como objetivo principal do controle de projetos, a garantia de realização do projeto em consonância com o cronograma, orçamento e especificações (SHENHAR; DVIR, 2017).

Nesse contexto, destaca-se que a gestão de um projeto tem início, meio e fim. Para poder garantir esse ciclo da gestão de um projeto é importante possuir uma análise previa da viabilidade econômica, ambiental e principalmente técnica de um determinado produto, ou seja, deve ser adotada uma metodologia que ajude a tornar uma ideia em um produto aceito por um determinado mercado ou cliente. E, a principal ferramenta, usada na indústria automobilística, para garantir a análise de um projeto na sua fase de desenvolvimento é o DFMEA.

2.2 SAE International

A SAE está entre as principais fontes de normas e padrões relativas aos setores automotivo e aeroespacial no mundo. A associação conta com três revistas extremamente difundidas, sendo elas a *Automotive Engineering International*, *Aerospace Engineering* e *Off Highway Engineering*, as quais mantém a comunidade da mobilidade atualizada sobre os desenvolvimentos mais recentes do setor, bem como publicações técnicas dos mais variados assuntos (SAE International, 2022).

Sua história tem início no começo do século 19, contexto no qual havia dezenas de montadoras nos Estados Unidos e no mundo. Aliado a quantidade de montadoras e fabricantes de peças automotivas, perpetuou-se uma demanda crescente e, com isto, um grande aumento nas patentes, modelos de peças e automóveis. Juntamente com a expansão na variedade, tem-se uma expansão no aumento de problemas técnicos e com proteção de patentes. Sendo assim, logo se fez necessário a criação de padrões de engenharia, com muitos engenheiros do setor expressando um desejo de ter trocas de experiências e conhecimento, expandindo assim a técnica individual (SAE International, 2022).

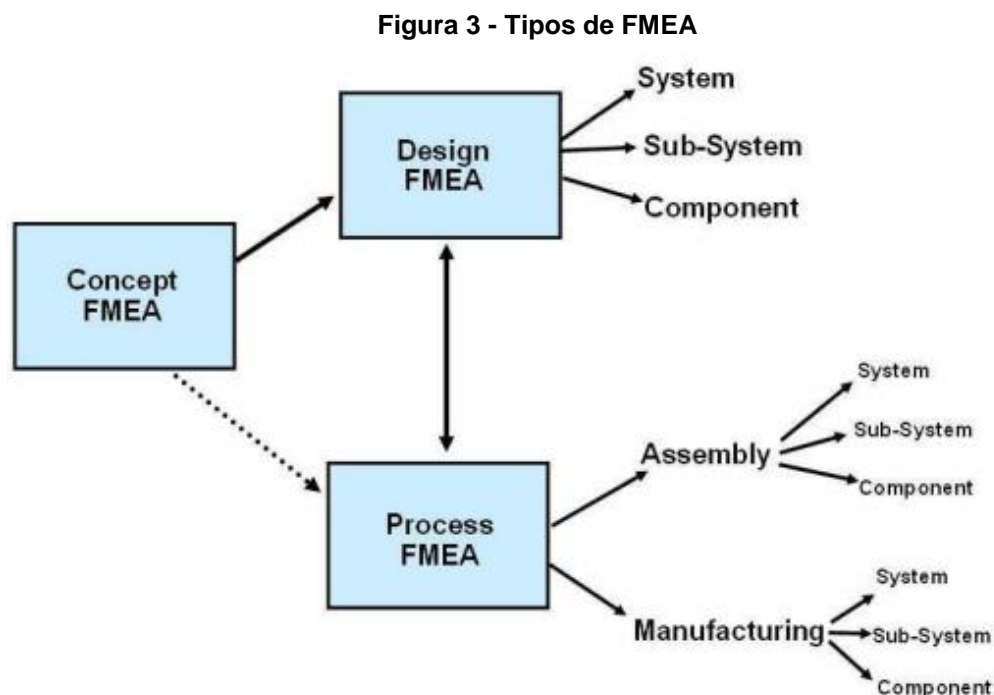
Sua missão é ser um órgão mundial de cientistas, engenheiros e profissionais que fomenta o conhecimento de veículos e sistemas automotores em um fórum neutro em benefício da sociedade. Sendo assim, a SAE é autoridade líder no desenvolvimento de normas de mobilidade, como segurança, produtividade, confiabilidade, eficiência e certificações (SAE International, 2022).

2.3 Norma SAE J1739: 2009 – FMEA na indústria automobilística

2.3.1 Escopo

A norma SAE J1739, de janeiro de 2009, trata da Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial no Projeto (DFMEA - do inglês *Potential Mode and Effects Analysis in Design*) e Modos e Efeitos de Falha Potencial no Processo de Manufatura e Montagem (PFMEA - do inglês *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes*), foi desenvolvida pelo grupo de Análise de modo e Efeitos de Falha da Chrysler, Ford e General Motors, trabalhando sob o patrocínio da divisão Automotiva da Sociedade Americana para o Controle de Qualidade (ASQC - do inglês *American Society for Quality Control*) e ainda o Grupo de Ação da Indústria Automobilística (AIAG - do inglês *Automotive Industry Action Group*) (SAE J1739, 2009).

Na Figura 3 é apresentado um fluxograma para exemplificar as situações nas quais deve-se utilizar o DFMEA e o PFMEA.



Fonte: SHARMA; SRIVASTAVA (2018)

Apesar de o uso mais extensivo dessa ferramenta de análise acontecer na indústria automobilística, o FMEA é também utilizado com grande destaque nas indústrias aeroespacial, nuclear e bioquímica (HAQ; LIPOL, 2011).

Segundo a SAE J1739 (2009), esta norma funciona como um manual no qual é apresentada a Análise de modo e efeito de falha potencial (FMEA) e dá diretrizes gerais para a aplicação da técnica. Pode-se descrever uma FMEA como um grupo de atividades sistêmicas com o objetivo de:

1. Reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/ processo e seus efeitos;
2. Identificar ações que podem eliminar ou reduzir a hipótese do modo de falha potencial ocorrer;
3. Documentar o processo de análise.

A função desta norma é auxiliar usuários na identificação e mitigação do risco promovendo termos, requerimentos, gráficos de classificação e folhas de trabalho adequados. Seguindo um formato de norma, o documento traz requerimentos que devem ser realizados e recomendações a serem seguidas pelos usuários do processo de FMEA (SAE J1739, 2009).

A análise FMEA é complementar ao processo de desenvolvimento de projetos e faz com que o mesmo contenha requisitos que satisfaçam plenamente as necessidades dos clientes (SAE J1739, 2009).

2.3.2 Termos e Definições

Para o entendimento do documento, é necessário definir os seguintes termos, segundo SAE J1739 (2009):

1. Documento de base FMEA: o documento de base de uma FMEA contém diversas similaridades quando comparado a um novo projeto. No entanto, a linha de base pode ser utilizada como um ponto de partida e é opcional;
2. Diagrama de blocos: o diagrama de blocos é uma ferramenta gráfica para facilitar a análise da interface de um sistema, usualmente utilizado no design de uma FMEA. Tem a função de definir o escopo da análise e fornece orientação para um *brainstorming* estruturado;
3. Plano de controle: Descrições escritas do sistema usado para controlar peças e processos. Pode ser um componente ou processo específico, ou uma família em que múltiplas partes são produzidas usando a mesma linha de processo. O plano de controle descreve as ações que são requeridas em cada fase do processo, incluindo recebimento,

processamento, entrega de material e requisitos periódicos para assegurar que todas as saídas do processo estarão sob controle. O plano de controle fornece o monitoramento do processo e métodos de controle que serão utilizados para controlar as características do produto ou processo. Tipos típicos incluem: Protótipos, Pré lançamento e Produção;

4. Cliente: o cliente envolve todos os usuários do produto. Clientes são os usuários finais, operações de montagem e manufatura e serviços operacionais;
5. Time FMEA: Um time composto por indivíduos com conhecimento para executar uma análise FMEA;
6. Folha de trabalho da FMEA: o conteúdo de uma folha de trabalho é o entregável de uma análise de projeto ou processo de FMEA. As folhas de trabalho podem ser modificadas para os requerimentos de cada empresa;
7. Processo oculto: o processo oculto é um desvio do fluxo de processos planejados. Isso ocorre quando um produto ou processo é feito em desacordo com o planejamento inicial;
8. Fluxograma de processo: o fluxograma de processo é uma representação gráfica do movimento do produto ou serviço durante sua evolução no processo produtivo.
9. Mitigação do risco: o objetivo principal de um processo FMEA é identificar altos riscos e tentar evitar a ocorrência no produto final ou, ao menos, tentar minimizar os efeitos para o consumidor final. Existem apenas três caminhos para mitigar tais riscos: Mudar o projeto, prevenir a ocorrência do risco ou detectar a ocorrência, durante ações de acompanhamento, e eliminar ou reduzir os efeitos do risco.

2.3.3 Visão Geral

Segundo a SAE J1739 (2009) um FMEA pode ser descrito como um grupo de atividades sistemáticas que tem a intenção de:

- a) Reconhecer e medir o potencial de falha de um produto/ processo e os efeitos e causas dessas falhas;

- b) Identificar ações que podem eliminar ou reduzir a chance de ocorrência de falha potencial;
- c) Documentar o processo.

Estas são complementares para o processo de definir o que o projeto ou o processo deverá fazer para satisfazer o cliente.

Quanto antes a análise FMEA for iniciada durante a fase de desenvolvimento, melhores as chances de otimizar as diversas atividades do projeto e processo em custo e tempo, de maneira efetiva. Um dos fatores mais importantes para o sucesso da implementação de um programa FMEA é a pontualidade. Isso quer dizer que a análise FMEA de ser uma ação antes do evento, e não um exercício pós fatídico. Para atingir o maior valor possível, o FMEA deve ser realizado antes do modo de falha ser incorporado ao processo ou produto. Gastar tempo inicialmente completando um FMEA, quando um produto/ processo muda, pode ser mais fácil e menos custoso de se implementar e minimizará chances de uma crise tardia devido a mudança. Um FMEA pode reduzir ou eliminar a chance de implementar uma mudança preventiva/ corretiva que poderia criar uma preocupação ainda maior (SAE J1739, 2009).

Pela norma SAE J1739 (2009), existem três casos básicos para os quais as análises FMEA são geradas, cada uma com diferente escopo ou foco:

Caso 1: Novos projetos, novas tecnologias, ou novos processos. O escopo da análise FMEA é um projeto completo, nova tecnologia ou novo processo completo.

Caso 2: Modificações de um projeto ou processo existente (assumindo que há uma análise FMEA para o projeto ou processo existente). O escopo do esforço de revisão precisa ser focado na modificação, possíveis interações devido as modificações, e performance de campo. Modificações incluem remoção ou adição de novas peças ou operações de processo. Inclusos nas modificações, temos alterações nas funções do produto ou processo.

Caso 3: Utilização de um projeto ou processo em um novo ambiente, localização ou aplicação (assumindo que há uma análise FMEA para o projeto ou processo existente). O escopo de uma revisão é o impacto do novo ambiente ou localização para o processo ou projeto existente.

A responsabilidade para a preparação de uma análise FMEA é direcionada a um único indivíduo, no entanto as entradas de dados precisam ser realizadas por um

esforço coletivo. Um time de especialistas com conhecimentos distintos precisa ser consultado (SAE J1739, 2009).

Além disso, não é apropriado comparar as avaliações de um time de análise FMEA com outros times, mesmo que o produto ou processo possam parecer idênticos. Como cada grupo é único as avaliações individuais serão únicas (SAE J1739, 2009).

Por fim, a proposta e o objetivo de uma análise FMEA, segundo SAE J1739 (2009), é suportar o processo utilizado para o projeto, manufatura ou montagem de um produto. Podemos encontrar os objetivos de forma mais eficiente se considerarmos o seguinte:

- a) Identificação do risco;
- b) Priorização do risco;
- c) Mitigação do risco.

O valor fundamental de um processo de análise FMEA, para a norma SAE J1739 (2009), é identificar riscos potenciais, ranqueando esses riscos e, em seguida, mitigando muitos daqueles riscos o mais rápido possível. Para Nuñez (2017) o ranqueamento pode ser realizado com base nos maiores RPNs apresentados e, em caso de empate, deve-se sempre priorizar os itens com maior valor de Severidade, uma vez que esse é o que trará a maior percepção ao cliente, principalmente se envolver a segurança do mesmo.

Existem ao menos três categorias de riscos principais discutidos durante um processo de análise FMEA: Riscos de projeto (erros nos requerimentos e especificações, erros em cálculos de engenharia ou seleção de materiais, etc.); Falha em alertar riscos (informações e/ou etiquetas inadequadas ou perdidas, etc.); Riscos de Processo (erros de manufatura, montagem, etc.) (SAE J1739, 2009).

2.3.4 FMEA de Projeto - DFMEA

Pela norma SAE J1739 (2009), um projeto FMEA precisa conter os seguintes conteúdos:

2.3.4.1 Tempo de realização:

O projeto FMEA precisa normalmente ser iniciado depois da iniciação do projeto e completo antes da liberação do projeto. O modelo de base de um projeto FMEA é o ponto de partida para o processo de gerenciamento de risco quando

disponível. Esse modelo padrão precisa ser editado para documentar os riscos específicos de cada projeto e aplicação. Mudanças no projeto FMEA podem ser realizadas por todo tipo de desenvolvimento de produto e produção.

2.3.4.2 Escopo

O Escopo de um projeto de FMEA depende de vários fatores, dentre eles a responsabilidade pelo projeto, as interações e interfaces e os sistemas de arquitetura. Esse escopo pode ser identificado facilmente usando um fluxograma ou ilustração, que represente os elementos que estão sendo analisados. O diagrama ilustra a relação primária entre os itens cobertos pela análise e estabelece a ordem lógica para a mesma.

- Responsabilidade do projeto: o escopo precisa definir o *hardware* para o projeto ao qual o time é responsável. Consecutivamente, isso define os elementos a serem analisados. Este é o item para o qual o time de engenharia tem propriedade no projeto e mitigação do risco.
- Interações e interface: o time precisa discutir e documentar as interfaces para com outros componentes, subsistemas ou sistemas. Essas interfaces físicas são requeridas para assegurar a função do produto, transmitindo sinais, fluidos ou energia. Estão inclusos neste tópico interações não físicas que podem influenciar na funcionalidade do produto, como frequências de radiação de alta intensidade. Estas interfaces e interações podem ser analisadas utilizando uma interface FMEA ou incluída em uma análise de componente, subsistema ou sistema.
- Arquitetura do sistema: o time precisa discutir e documentar informações sobre o item a ser analisado definindo em quais linhas do projeto ele figura (como exemplo, um item é um componente de um maquinário). A arquitetura também define os requisitos do produto, sempre procurando atender as necessidades dos clientes.

2.3.4.3 Entradas

O time de análise FMEA precisa revisar várias entradas, como:

- Garantia;

- *Recalls* – termo em inglês que significa, em tradução livre, “chamamento”, que se trata do ato de um fornecedor (principalmente fabricantes de veículos automotores) solicitar aos clientes um retorno, devido a algum problema com segurança, para reparos e/ou substituição do bem, sem custo ao consumidor (CORRÊA, 2022).
- Requisitos de engenharia;
- Desenhos Técnicos;
- Capitalização (aprendizados de outros projetos, entrevistas com especialistas);
- Plano de validação preliminar do projeto;
- Boas práticas;
- Projeto de base FMEA;
- FMEA de alto nível;
- Lista de materiais;
- Estudo de factibilidade da manufatura;
- Fluxogramas do processo.

2.3.4.4 Saídas

As saídas que uma análise FMEA pode produzir são muitas, tais como:

- Avaliação do risco do modo de falha, por meio da análise das causas;
- Mitigação dos modos de falha, através de ações recomendadas;
- Documentos do DFMEA, por meio do plano de ação.

2.3.4.5 Suposições

O DFMEA precisa abordar o propósito do projeto e assumir que o projeto será manufaturado / montado para este propósito. Já o PFMEA precisa abordar os riscos na linha de manufatura e montagem. Contudo, isso não previne um time para considerar as funções de projeto para montagem e projeto para manufatura como parte de um DFMEA (exemplo, quando se sabe que falhas ocorreram no passado por motivos conhecidos).

O processo DFMEA não deveria confiar no controle de processo de manufatura para superar fraquezas potenciais de projeto, mas resulta que os limites

físicos e técnicos dos processos de manufatura e montagem são levados em consideração, como por exemplo:

- Limitação no acabamento de superfícies;
- Espaço de montagem/ acesso de ferramenta;
- Limitações de materiais;
- Capacidade de processo.

2.3.4.6 Procedimento

- I. Cabeçalho: A folha de trabalho do DFMEA contém informações importantes sobre a análise. O cabeçalho deve conter o nome do projeto, a última revisão, organização, departamento e o(s) responsável(eis) pelo projeto. Pode conter informações adicionais como o número do DFMEA, ano do modelo, data prevista de fechamento da análise, sistema/ subsistema /componente, etc. O ideal é ter as informações necessárias para prover uma informação útil e que permita rastreabilidade e armazenamento.
- II. Identificação do item: O nome ou outra informação pertinente que descreva o item que está sendo analisado deve ser escrita no DFMEA.
- III. Função requerida: A função em um projeto é a descrição do propósito do item para o sistema, subsistema ou componente. As funções de cada item em análise devem ser escritas no DFMEA. Um produto pode ter mais de uma função.

Quanto mais precisa a descrição da função, mais fácil será identificar os modos de falha potenciais para ações corretivas e preventivas. Caso um item tenha mais do que uma função com diferentes modos de falha potenciais, listar todas as funções separadamente na folha de trabalho do DFMEA.

Os requisitos do produto definem como a funcionalidade deste deve ser desempenhada. A função de um produto pode ter múltiplos requisitos. Os requisitos são características mensuráveis da função de um produto ou sua operação e precisam ser documentadas no DFMEA, bem como os valores requisitados.

Exemplos típicos de funções requeridas de um produto:

- Transformações: realizar a transformação de determinada velocidade e/ou torque;
- Operação: atingir determinado valor de ruído;
- Ramificações: realizar determinados acoplamentos

Exemplos típicos de requisitos:

- Pressão: xx Pa
- Fluxo: xx m³/s
- Ruído: xx dB

IV. Modo de falha potencial: os modos de falha são as maneiras nas quais um componente, subsistema ou sistema podem apresentar uma falha potencial ao desempenhar as funções necessárias e seus requisitos. Os modos de falha precisam ser escritos em um DFMEA para cada função solicitada. O time determina a prioridade em cada um desses para analisar as funções. Cada modo de falha potencial em um FMEA é considerado independente dos outros. Esta ação proporciona ao time endereçar as razões das falhas de forma independente. Agrupar múltiplos modos de falha em apenas uma célula da folha de trabalho não é recomendado.

Existem ao menos cinco tipos de modo de falha potencial discutidos durante um processo de análise FMEA:

- Perda de função (e.g., componente inoperante);
- Perda parcial de função requerida (e.g., perda de performance);
- Perda intermitente da função requerida (e.g., resultado de condições naturais como: umidade, temperatura);
- Degradação da função requerida (e.g., desgaste natural);
- Perda não intencional de função requerida (e.g., operação na hora errada, falha provocada de forma não intencional, operação desqualificada).

Dessa forma, a equipe responsável pela análise deverá descrever o comportamento da falha do componente ou sistema em termos físicos, diferente do resultado ou da função desejada.

V. Efeito de modo de falha potencial: os efeitos são consequências ou resultados de cada modo de falha. Os efeitos devem ser listados na análise DFMEA para cada modo de falha na coluna Efeitos Potenciais. Os efeitos

dos modos de falha precisam ser considerados contra o próximo nível, ou seja, o conjunto acima, o produto final e o cliente final, quando conhecido. Efeitos para o consumidor final precisam indicar qual a experiência do usuário. Estes precisam indicar claramente se o efeito ou o modo de falha podem impactar a segurança ou não conformidade com regulações, quando aplicável. A intenção é prever o efeito da falha, de acordo com o nível de conhecimento da equipe.

- VI. Classificação de severidade de efeito (SEV): a severidade é uma classificação associada ao efeito mais severo de um dado modo de falha para a função avaliada. É uma classificação relativa dentro do escopo do FMEA individual e é determinado independentemente à ocorrência ou detecção.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a avaliação da criticidade ou severidade trata de uma ponderação qualitativa do efeito identificado, desconsiderando assim os cálculos e medições para quantificar este efeito. Existem várias formas de classificar e avaliar a severidade, no entanto, para o presente trabalho, será utilizada uma adaptação da norma SAE, que pode ser verificada no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação de severidade de efeito

Efeito	Critério (Severidade do efeito)	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do produto 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 produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Produto/Item inoperável, com perda das funções primárias.	8
Alto	Produto/Item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência baixo. Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Produto/Item operável, mas com nível de conforto/ conveniência e desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado por alguns clientes.	3
Muito menor	Itens: Forma e acabamento não conforme. Defeito notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: MOURA (2000)

A avaliação precisa da severidade depende do entendimento da equipe sobre a segurança do produto, suas funções e requisitos funcionais como correlação entre o veículo e os subcomponentes ou peças fornecidas. A avaliação das severidades pode estar fora da experiência do engenheiro de projetos do time. Nesses casos, uma equipe de interface entre sistemas ou o consumidor devem ser consultados para compreender a propagação dos efeitos.

No caso de peças compradas (e.g., parafusos, porcas, conectores, etc.), o critério de classificação da severidade será limitado pela função imediata e seus requerimentos relacionados. Sendo assim, a severidade reflete o

impacto do acabamento e tamanho correto, função parcial e a perda da função parcial ao invés do impacto no sistema ou cliente.

Uma das metas do processo FMEA é mitigar riscos ou diminuir o impacto de potenciais modos de falha. A classificação de severidade não pode ser alterada, ou seja, a severidade do modo de falha não será alterada.

- VII. Causa de falha potencial: Uma causa de falha potencial é uma indicação do quanto uma falha pode ocorrer. Para a identificação de causas raiz, existem diversas ferramentas que podem ser aplicadas, tais como o QRQC, demonstrado no trabalho de Rocha et.al. (2015), ou o mais tradicional utilizado na indústria automotiva: o método do diagrama de Ishikawa (LUCA, 2015).

A causa raiz deve ser listada concisa e completa para que seja possível realizar esforços a fim de remediar as causas de forma apropriada.

Alguns tipos de causas de falhas podem ser:

- Projeto ou performance funcional (material especificado incorretamente, geometria incorreta, curso especificado não adequado, capacidade de lubrificação insuficiente, etc.);
- Interações de sistema (interfaces mecânicas, fluxo do fluido, fornecimento de calor, etc.);
- Mudanças através do tempo (fadiga, instabilidade do material, corrosão, etc.);
- Ambiente externo (calor, frio, vibração, etc.);

- VIII. Classificação de ocorrência (OCC): ocorrência é uma classificação associada de cada causa com seu modo de falha em avaliação. A classificação de ocorrência tem um significado relativo ao invés de um valor absoluto e é determinado sem o que diz respeito a severidade ou detecção. Essa classificação leva em consideração o tipo preventivo dos controles de projeto.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a classificação da ocorrência é a possibilidade de que a causa da falha ocorra. A classificação, assim como a causa do modo de falha, é avaliada de forma qualitativa.

A avaliação da Ocorrência deve ser realizada utilizando os critérios contidos no Quadro 2.

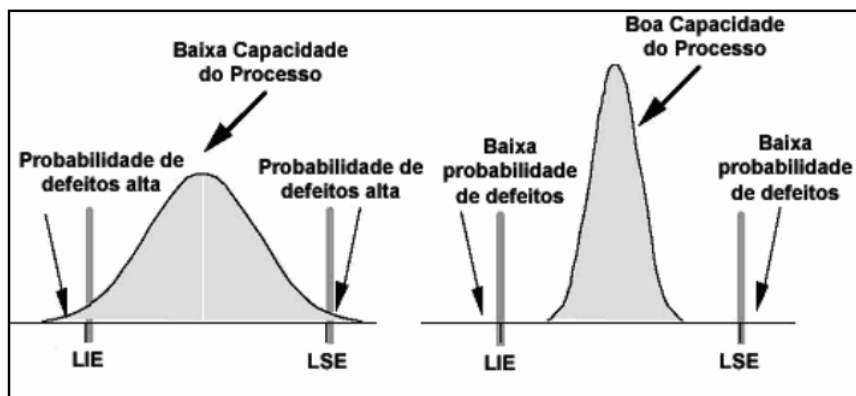
Quadro 2 - Avaliação de Ocorrência das causas do Modo de Falha

Efeito	Taxas de falha possíveis (número de horas)	Cpk	Índice (O)
Muito alta: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	$\geq 0,33$	10
	≥ 1 em 3		9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas frequentes	1 em 8	$\geq 0,51$	8
	1 em 20	$\geq 0,67$	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionais, mas não em maiores proporções	1 em 80	$\geq 0,83$	6
	1 em 400	$\geq 1,00$	5
	1 em 2000	$\geq 1,17$	4
Baixa: Associada a processos similares que apresentaram poucas falhas	1 em 15000	$\geq 1,33$	3
Muito baixa: Associada a processos quase idênticos que apresentaram apenas falhas isoladas	1 em 150000	$\geq 1,50$	2
Improvável: Falha é improvável. Processos quase idênticos nunca apresentaram falhas	≤ 1 em 1500000	$\geq 1,67$	1

Fonte: MOURA (2000)

O CpK é uma ferramenta de controle estatístico de processo, que mede a capacidade do mesmo. O processo é tido como “capaz” quando a distribuição normal que lhe está associada se situa entre o Limite Inferior (LIE) e o Limite Superior (LSE) especificados, conforme Figura 4. Quanto mais alta for a capacidade de um processo, menor será a probabilidade de ocorrência de determinado problema (CORREIA et.al, 2004).

Figura 4 - Interpretação Gráfica da Capacidade dos Processos



Fonte: CORREIA et.al. (2004)

IX. Controle Preventivo: controle de projeto por prevenção descreve como uma causa, modo de falha ou efeito pode ser prevenido. Trata-se de uma atividade ou procedimento que pode ser relacionada a uma causa potencial, ou seja, algo que pode já existir em um sistema similar ao estudo, permitindo assim sua utilização. A prevenção é uma entrada para a classificação de ocorrência quando integrado como parte da intenção de projeto. O controle de projeto de prevenção é baseado na aplicação de normas, especificações, regras de projeto, guias de projeto, lições aprendidas, normas legais, normas de projeto ou boas práticas, etc. com o objetivo de prevenir a probabilidade de falha.

Além disso, segundo Nuñez (2017), pode-se utilizar recomendações de manutenções preventivas ou advindas de especialistas como um meio de controle antecipado para o projeto.

X. Controle Detectivo (DET): o controle de projeto por Detecção deve ser considerado durante o desenvolvimento da análise FMEA, quando aplicável. A detecção descreve como uma causa e/ ou um modo de falha é detectado, tanto de forma analítica, física ou de simulação, antes do lançamento do item para a produção, o que justifica utilizar esse dado juntamente com a classificação de detecção.

Os controles detectivos podem ser classificados como análises que visam assegurar a robustez do produto. Alguns meios de controle podem ser testes com protótipos e cálculos analíticos. Pode-se validar o projeto também com simulações estáticas e dinâmicas através de softwares de engenharia auxiliada por computador (CAE – do inglês *Computer Aided Engineering*) e Simulações pelo método dos Elementos Finitos (FEM – do inglês *Finite Element Method*) (NUÑEZ, 2017).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a classificação dos níveis dos índices de detecção também ocorrem de forma qualitativa. Uma forma de realizar a classificação desse índice é através do Quadro 3.

Quadro 3 - Detecção para o Controle do projeto

Detectabilidade	Critério: Detecção (DET) para o Controle do projeto	Peso
Incerteza absoluta	Nenhum tipo de controle preventivo para o projeto. Não é possível detectar ou analisar modos de Falha.	10
Difícil de detectar	O controle de detecção e análise do projeto tem uma capacidade de detecção fraca; análises virtuais (CAE: FEA, CAD, CFD, etc.) não são aplicáveis às condições reais esperadas de funcionamento.	9
Pós-congelamento do projeto e antes da sua fabricação	Verificação/validação do produto após o congelamento do projeto e antes da fabricação, por meio de análise de aprovação/reprovação (testar o sistema ou subsistema com critérios de aceitação, por exemplo, recomendações de especialistas, publicações, etc.)	8
	Verificação/validação do produto após o congelamento do projeto e antes da fabricação, por meio de análise de falhas em protótipos (testar o sistema ou subsistema até a falha ocorrer, teste de interações do sistema, simulação de ocorrência de falhas, etc.)	7
	Verificação/validação do produto após o congelamento do projeto e antes da fabricação, por meio análise de degradação (verificar o sistema ou subsistema após testes de durabilidade, por exemplo, testes destrutivos)	6
Antes de congelar o projeto	Validação do produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando análises de aprovação/reprovação (por exemplo, critérios de aceitação para desempenho, verificações de funções, etc.)	5
	Validação do produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando análises de falhas em protótipo (por exemplo, até ocorrer um: vazamento, fratura, deformação, desgaste, incrustação, etc.)	4
	Validação do produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando análise de degradação (por exemplo, tendências de dados, valores do antes/depois, análise estatístico, avaliando o fornecedor de peças, etc.)	3
Análise Virtual - Correlacionada	Os controles de análise para detecção de falhas no projeto, possuem uma forte capacidade de detectabilidade. A análise, por exemplo, CAE: FEA, CAD, CFD, é altamente recomendada para replicar as condições de funcionamento reais e/ou esperadas, antes do congelamento do projeto.	2
Detecção não aplicável	A Causa do Modo de Falha não pode ocorrer porque ela é totalmente evitada por meio de controle preventivo, ou seja, soluções de projeto (por exemplo, normas ou boas práticas de projeto, uso de materiais comuns e muito conhecidos, etc.)	1

Fonte: Adaptado de Nuñez (2017)

XI. Número de Prioridade do Risco: o número de prioridade do risco (RPN – do inglês *Risk Priority Number*) é o produto entre as classificações da severidade (SEV), ocorrência (OCC) e detecção (DET), que pode variar entre 1 e 1000.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), calcula-se o RPN para que se possa priorizar as ações para planos de ação afim de corrigir e implementar propostas de melhoria para o projeto. O valor do RPN aumenta à medida que os valores da severidade, ocorrência e detecção aumentam, não sendo linear. Segundo Milla (2019), o cálculo do RPN promove uma avaliação aproximada do risco, justificando ou não a análise e revisão do projeto.

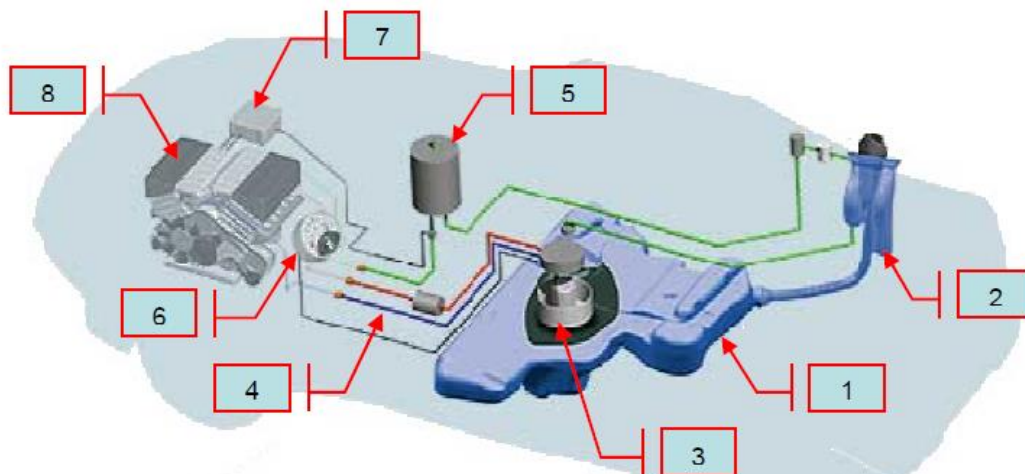
2.4 Sistema de Combustível Automotivo

Segundo Penteadado (2009), o sistema de combustível automotivo teve seu início em conjunto com os primeiros motores a combustão desenvolvidos para uso veicular, em 1886, com patente dos alemães Bens e Daimler do motor de combustão interna 4 tempos a gasolina – a qual geralmente se atribui a invenção do automóvel à gasolina – cuja invenção perfaz um marco para a história como o primeiro triciclo de motor (VASCONCELOS, 1935).

O sistema de combustível automotivo utilizado atualmente possui o mesmo conjunto de componentes principais desde o início, sendo: reservatório de armazenamento, linhas de fluxo de combustível e uma bomba para recalque do combustível contido no reservatório do motor. Sendo as principais diferenças, dos antigos modelos para os atuais, tecnologia e os materiais empregados no projeto e manufatura destes componentes. Contudo suas funções principais permanecem inalteradas (PENTEADO, 2009).

Pela Figura 5, pode-se verificar um sistema de combustível em um esquema de veículo (1, 2, 3 e 4), localizado no assoalho do mesmo.

Figura 5 - Veículo Esquemático



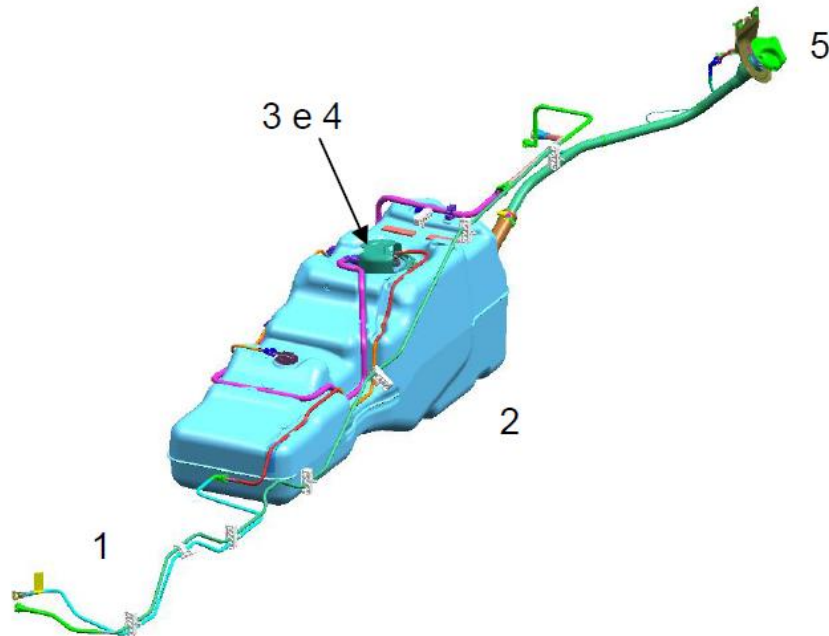
LEGENDA:

- 1 - Reservatório de combustível;
- 2 - Gargalo de reabastecimento;
- 3 - Módulo de alimentação (Bomba de Combustível);
- 4 - Linhas de combustível;
- 5 - Reservatório de carvão ativado (Canister);
- 6 - Indicador do nível de combustível;
- 7 - Módulo de controle de injeção;
- 8 - Motor.

Fonte: SUZIKI (2007)

Pela Figura 6, pode-se verificar um sistema de combustível básico, de forma isolada, encontrado na maioria dos veículos (PENTEADO, 2009).

Figura 6 - Visão Geral de um sistema de combustível



Fonte: PENTEADO (2009)

Onde: (1) linhas; (2) reservatório; (3) bomba; (4) filtro; (5) Conjunto de abastecimento.

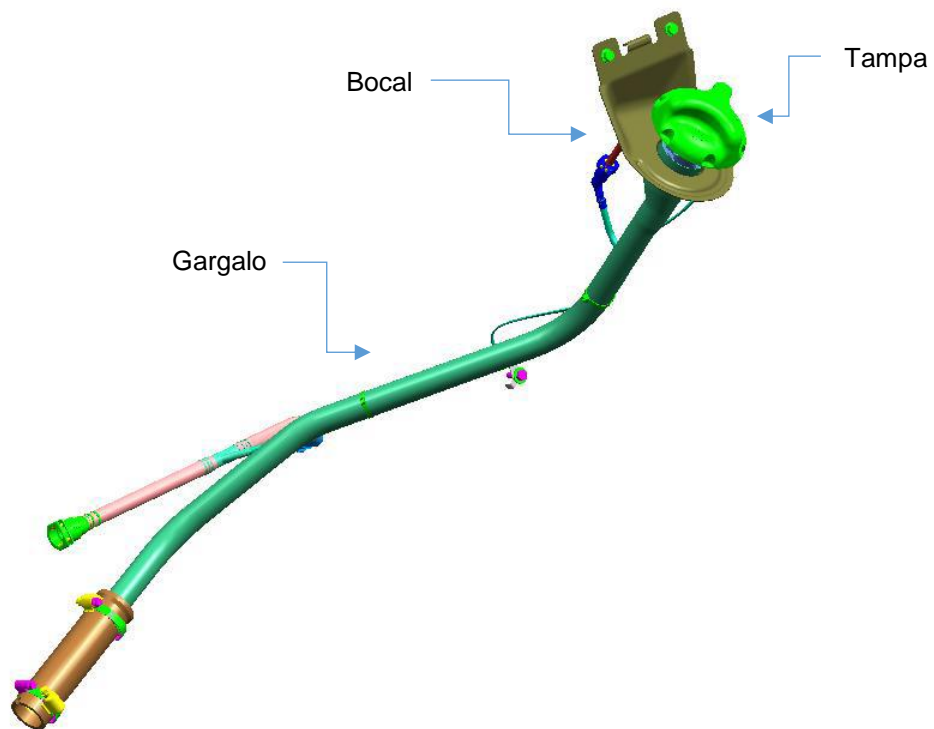
Para Suzuki (2007), o sistema de combustível contido em um veículo, de qualquer tipo, tem suas funções básicas determinadas pelo armazenamento de combustível e envio deste ao motor. O sistema deve permitir fácil abastecimento pelo usuário e seu armazenamento deve ocorrer de maneira segura, perfeitamente livre de vazamentos e odores, bem como conter os vapores de combustível gerados no reservatório de armazenamento, contando ainda com a necessidade de atender às normas de emissões de evaporativos. Quanto a função de envio de combustível, este deve seguir os procedimentos de segurança e estanqueidade mencionados acima, além de garantir tal envio de forma eficiente (PENTEADO, 2009).

2.4.1 Subsistema Conjunto de abastecimento

O subsistema de abastecimento é compreendido pelo conjunto de componentes que permitem o abastecimento do reservatório de combustível, desde a pistola de abastecimento até o interior do reservatório, de forma segura e garantindo inexistência de vazamentos (PENTEADO, 2009).

Para Suzuki (2007), a função de abastecimento do sistema inicia-se a partir do gargalo do reservatório, com a abertura da tampa do mesmo. Quando introduzido o bico da pistola da bomba de combustível do posto de abastecimento, processo no qual ocorre o aterramento do sistema de combustível a fim de evitar acidentes causados por qualquer carga de eletricidade estática. O esquema do conjunto gargalo de abastecimento pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Conjunto abastecimento



Fonte: Adaptado de Suzuki (2007)

2.4.1.1 Gargalo

Assim que se inicia o abastecimento, o combustível é conduzido pelo gargalo até o reservatório, o qual substitui o ar existente no tanque. Conseqüentemente, os sistemas de filtragem de gases são desenvolvidos para permitir que os vapores expelidos do tanque não sejam lançados na atmosfera, para atender as leis de emissões de gases evaporativos (SUZUKI, 2007).

O formato do gargalo – todo o conduto que direciona o combustível até o reservatório – é muito importante para garantir a performance do sistema. Sua rota deve ser mais direta e suave possível, a fim de facilitar o escoamento, sem prejudicar o fluxo de passagem do combustível. Caso o gargalo apresente restrição elevada, a pistola de abastecimento poderá ser desarmada precocemente, cujo abastecimento deverá ser realizado de maneira pausada, evitando que a pressão de combustível desarme a pistola de reabastecimento. Nesse último caso, pode ocorrer o refluxo durante o reabastecimento, o que ocasionará o derramamento de combustível devido ao excesso de pressão oriundo da dificuldade de passagem do fluido (PENTEADO, 2009).

Segundo Penteado (2009), o gargalo pode ser manufaturado em plástico, se adaptando, de forma mais eficaz, aos formatos mais detalhados da carroceria, evitando o contato do tubo com partes móveis – como suspensão, pneu, tubulações de freio, etc. – permitindo assim ocupar espaços mais sinuosos através de formas cada vez mais complexas (ARAÚJO; TOLEDO, 2018)

O gargalo plástico pode ser projetado com seções variáveis, prática que permite manter a performance de abastecimento do veículo, porém com uma forma mais complexa de duto. As seções facilitam a passagem do duto pela carroceria durante a montagem do veículo, permitindo a passagem do gargalo por regiões complexas (PENTEADO, 2017).

Na Figura 8, podemos observar alguns exemplares reais de gargalos do sistema de combustível, utilizados em veículos produzidos no Brasil (SUZUKI, 2007).

Figura 8 - Exemplo de gargalos do sistema de combustível



Fonte: SUZUKI (2007)

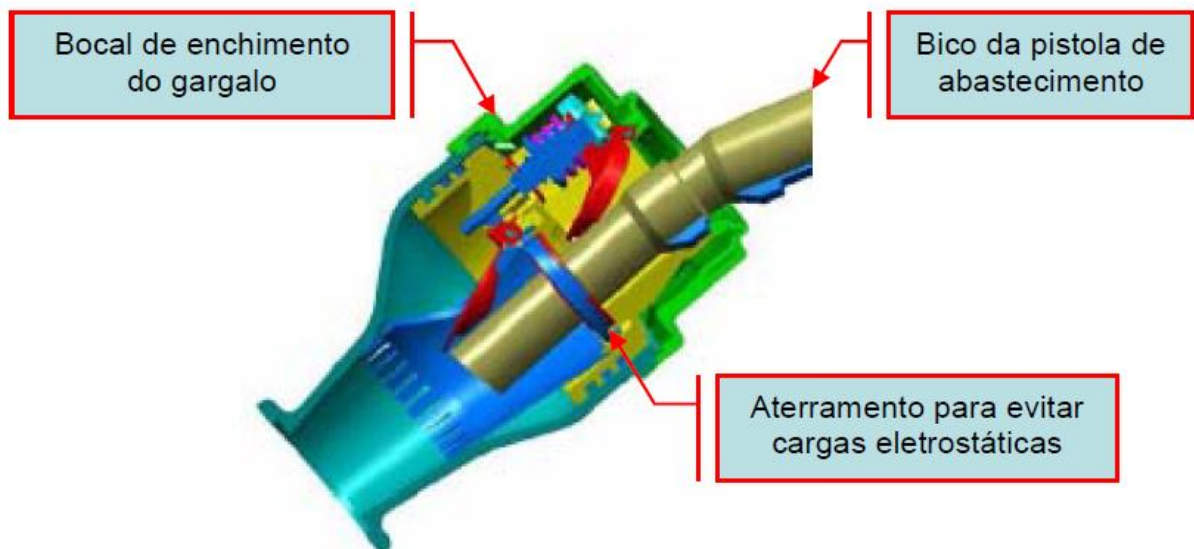
2.4.1.2 Bocal de abastecimento

Posicionado na parte mais externa do conjunto de abastecimento, o bocal deve conter uma provisão para o encaixe da tampa e permitir o acoplamento adequado da pistola de abastecimento (PENTEADO, 2009).

Esse acoplamento é realizado por meio de uma chapa metálica com orifícios calibrados, que também contam com a função de reter os gases que tendem a ser expelidos pelo reservatório durante o abastecimento (BANERJEE, 2001).

Na Figura 9, observa-se o conjunto de abastecimento no momento em que o bico da bomba está conectado para realizar a alimentação.

Figura 9 - Abastecimento de combustível através do gargalo



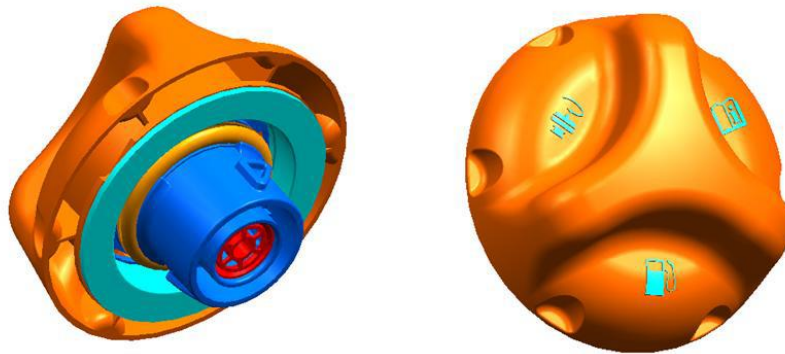
Fonte: SUZUKI (2007)

2.4.1.3 Tampa do reservatório de combustível

Para Penteado (2009), a tampa do reservatório de combustível tem a função de exercer proteção contra vazamentos e contaminação do combustível, bem como regular a pressão interna do reservatório.

Pode-se observar, na Figura 10, uma ilustração 3D de uma tampa de reservatório de combustível.

Figura 10 - Tampa do reservatório de combustível



Fonte: PENTEADO (2009)

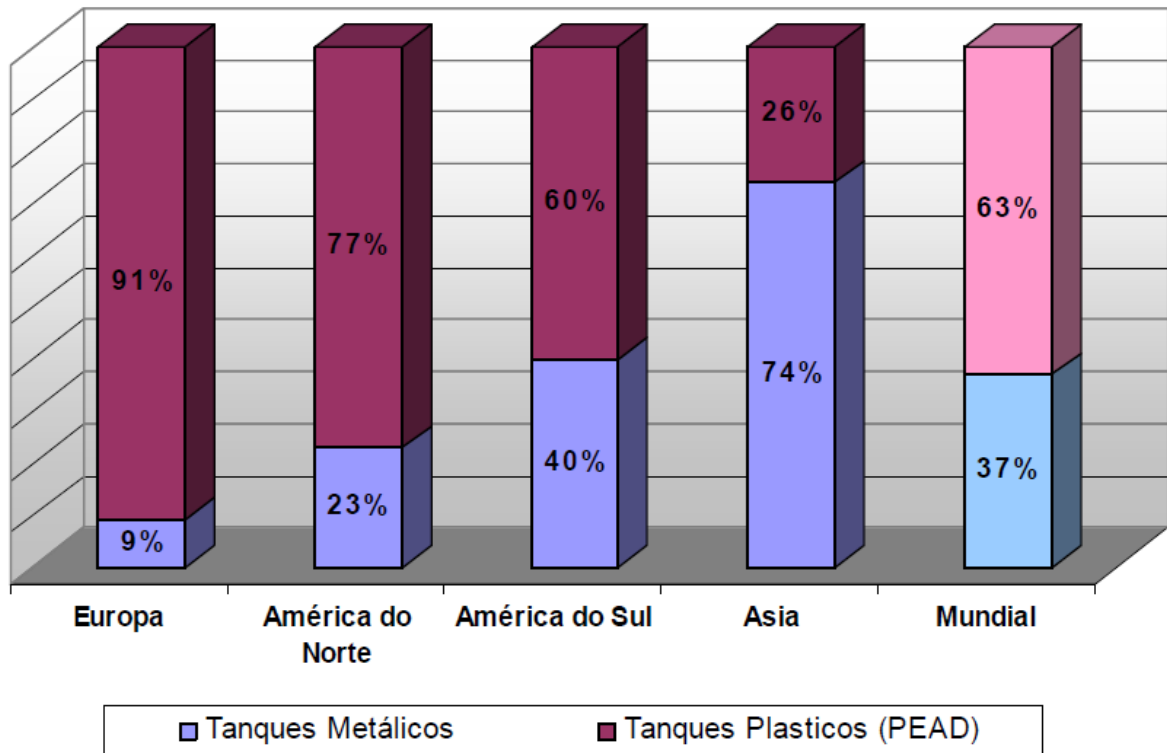
2.4.2 Subsistema Reservatório

Para Suzuki (2007), o recipiente do reservatório pode ser fabricado basicamente em dois tipos de materiais, sendo eles chapa de aço ou polímero de alta densidade.

Os reservatórios plásticos contam como principal característica a confecção com grau de simplicidade elevado. Este tipo de reservatório é o mais utilizado em veículos de passeio e caminhões leves, principalmente devido ao baixo custo de ferramental, de processo e por ser feito em apenas uma etapa, cujo processo consiste em soprar o material dentro de uma cavidade com o formato final desejado (PENTEADO, 2009).

Pela Figura 11, verifica-se a utilização de reservatórios por material.

Figura 11 - Participação no mercado mundial de tanques de Combustível



Fonte: SUZIKI (2007)

Outro ponto positivo do reservatório plástico é sua maleabilidade, a qual permite formatos mais ousados, com formas mais adequadas à cada tipo de veículo, servindo até como anteparo para quebra de ondas, para redução de ruídos dentro do reservatório, por exemplo. Ou mesmo para adequação da forma do reservatório às formas complexas do assoalho do veículo, criando uma interface mais eficiente e com maior volume para armazenamento (PENTEADO, 2009).

As desvantagens do reservatório plástico são principalmente a permeabilidade gasosa, o que permite que os vapores gerados pelo combustível armazenado sejam expelidos pela capilaridade das paredes, e a variação dimensional, a qual pode ocasionar problemas de aceite de peças pela montadora de determinado lote, causando desperdício (PENTEADO, 2009).

Na Figura 12, pode ser verificado um exemplo de tanque de combustível, utilizado em um automóvel.

Figura 12 - Reservatório de combustível com formas complexas



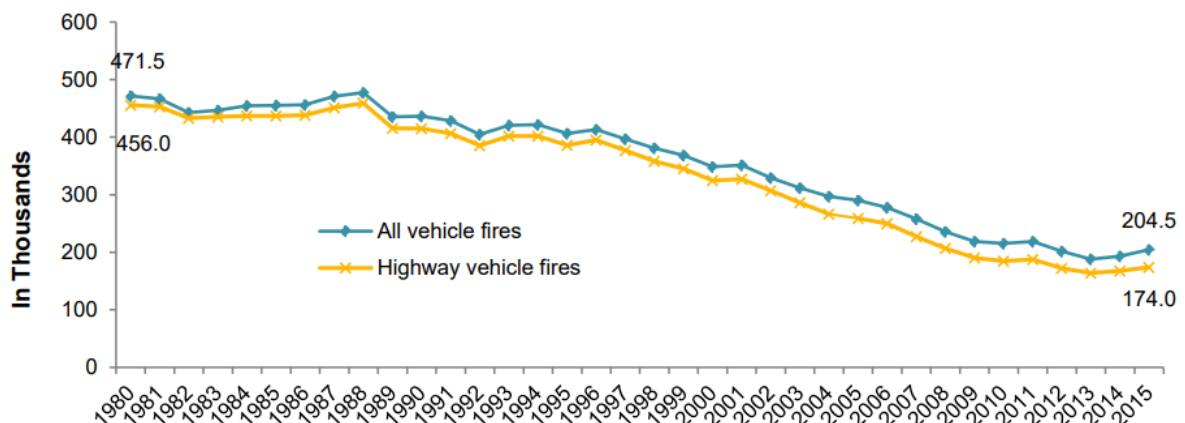
Fonte: SUZUKI (2007)

2.5 Vazamento de combustível e incêndio veicular

Dentre todos os aspectos de segurança relacionados aos automóveis, um ponto crítico é a proteção contra incêndios. Desde o início da história dos automóveis temos históricos de incêndios veiculares. A fim de reduzir os riscos de incêndios, atualmente a concepção veicular é feita de forma a minimizar essa possibilidade (BRAGA, 2012).

Para ter uma ideia em números, Ahrens (2010) traz em sua pesquisa que, dentre os anos de 2003 a 2007, foram registradas mais de 260.000 ocorrências de incendios veiculares diversos, os quais acarretaram sérias perdas materiais e humanas. No entanto, com novas tecnologias, normas mais rígidas e melhor controle de qualidade, pode-se verificar, pela Figura 13, uma diminuição destes casos desde o ano de 1980 até o ano de 2015.

**Figura 13 - Incêndios Veiculares por ano
1980-2015**



Fonte: AHRENS (2017)

Dos acidentes expostos na Figura 13, aproximadamente 75% são decorrentes de falhas mecânicas e/ou elétricas, dos quais 12%, ou 35.600, são relacionados a incêndios causados pelos freios ou por vazamentos de combustível. Desses incêndios, os mais frequentes são aqueles iniciados no motor ou nas rodas, no entanto os mais fatais são os incêndios iniciados no reservatório de combustível ou mesmo em linhas de combustível (AHRENS, 2010).

Ainda segundo Ahrens (2010), a Administração de Segurança de Tráfego Nacional (NHTSA – do inglês National Highway Traffic Safety Administration), emitiu quatro normas de segurança contra incêndios para veículos automotores desde que foi criada e, uma destas, específica para redução dos perigos envolvidos em vazamento de combustíveis.

2.6 Definição de conceitos

Para o correto entendimento da análise FMEA a ser realizada, será necessário o detalhamento de alguns conceitos e definições de engenharia, principalmente relacionados com os modos de falha encontrados.

Interferência: pelas leis da física, dois corpos não ocupam o mesmo espaço. Logo, se duas peças estão próximas o suficiente para se tocarem, entrando em contato uma com a outra, existe um processo de interferência (AGOSTINHO, 2018).

Abrasão: abrasão é um desgaste por fricção, raspagem. Acontece quando partículas ou materiais rígidos entram em contato (AGOSTINHO, 2018).

Reparação: atividade envolvendo realização de tarefas, processos e reparos essenciais ao funcionamento do objeto que sofre esta ação (KOROCOSKI et. al, 2016).

Corpo estranho: qualquer objeto ou substância que inadvertidamente penetra cavidades de um corpo (KOROCOSKI et. al, 2016).

Incompatibilidade de rosca: rosca é a estrutura helicoidal que compões os parafusos, composta por filetes em torno de uma superfície cilíndrica. Sua função é permitir o encaixe e o travamento através do movimento rotacional. A incompatibilidade se dá pela presença de dois tipos diferentes de rosca, seja em diâmetro, classe ou sentido (AGOSTINHO, 2018).

Layout de tubulação: desenho do trajeto real do conjunto de tubulações (AGOSTINHO, 2018).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

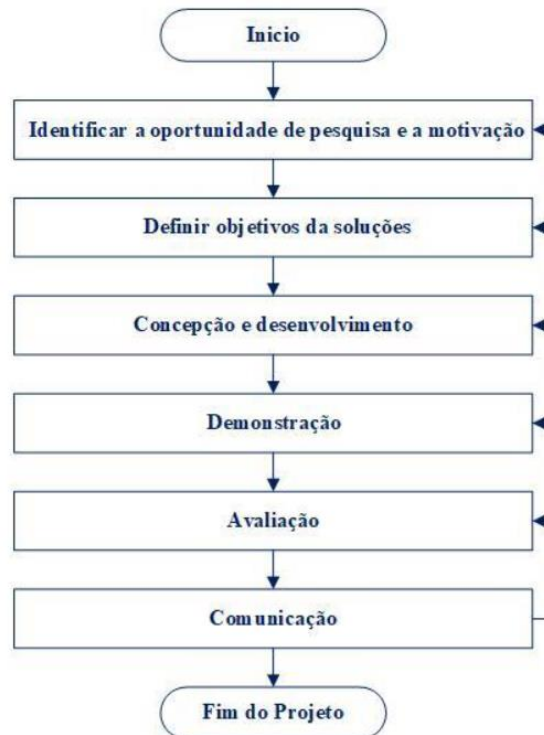
No presente trabalho é apresentado um estudo delimitado do desenvolvimento de uma análise DFMEA, desenvolvido com base em uma pesquisa científica que procura a real contribuição para o mundo acadêmico. Desta forma, alia-se os conhecimentos apresentados durante a graduação à norma SAE J1739 e trabalhos relacionados ao tema, com a finalidade da elaboração da análise em questão.

Para Lacerda et al. (2013), os métodos de pesquisa compostos por uma série de etapas, aprovados pela comunidade acadêmica, servem para a construção do conhecimento científico, fornecendo maior rigor ao desenvolvimento da pesquisa. Todo método de pesquisa deve responder a um problema ou oportunidade de pesquisa, evidenciando seus procedimentos e garantindo a confiabilidade dos resultados apresentados (NUÑEZ, 2017).

Segundo Nuñez (2017), um dos métodos que se destacam na engenharia para o desenvolvimento desse tipo de trabalho é a metodologia de Projeto de Pesquisa Científica (DSR - do inglês *Design Science Research*), o qual permite que um projeto resulte em soluções satisfatórias ou ainda melhores que as existentes para determinado problema prático, com diversas aplicações (NUÑEZ, 2017; VIRTUOZO, 2020; QATTAN et al., 2021).

O método DSR é composto por seis etapas, que são: (1) identificação da oportunidade de pesquisa e motivação, (2) definição dos objetivos da solução, (3) concepção e desenvolvimento, (4) demonstração, (5) avaliação e (6) comunicação (NUÑEZ, 2017). Todas as fases desta metodologia podem ser visualizadas na Figura 14.

Figura 14 - Fases do método DSR



Fonte: Adaptado de Nuñez (2017)

3.1 Identificação da oportunidade de pesquisa e motivação

Para Nuñez (2017), esta fase consiste em encontrar informações que sustentem de forma científica o trabalho a ser realizado. Tais informações são comumente encontradas em publicações científicas e normas, que justificam, motivam e direcionam a realização de um trabalho científico.

Para o presente trabalho foram selecionadas informações encontradas em periódicos da área da engenharia mecânica, geralmente voltados para a engenharia automotiva, processos, desenvolvimento de produto, entre outros, bem como normas referentes ao desenvolvimento de produtos e análises FMEA. Utilizou-se também anuários e relatórios nacionais e internacionais, para evidenciar a necessidade de enfoque em certos temas, principalmente em segurança.

Todos os temas acima descritos são apresentados na introdução, fundamentação teórica e desenvolvimento do presente trabalho, nos capítulos 1, 2 e 4, respectivamente.

3.2 Definir objetivos das soluções

Os objetivos do presente trabalho foram definidos a partir da literatura científica, exposta no capítulo 1, introdução. No qual é apresentado o estado da arte de forma a direcionar o trabalho para a solução, que resolva de fato os problemas apresentados. Esta etapa do DSR está também inclusa nos itens dos capítulos 1, 2 e, especialmente, no subcapítulo 1.2, cujo objetivo geral e específicos são apresentados.

O subsistema estudado é delimitado pelo sistema de abastecimento de combustível, conforme Figura 7.

3.3 Concepção e desenvolvimento

A concepção e desenvolvimento do trabalho é composta pela fase em que são aplicados os recursos para atingir os objetivos, definidos na etapa anterior. Como o presente trabalho consiste na elaboração de uma análise com objetivo de contribuir para a segurança e melhorar a previsibilidade e assertividade dos projetos de abastecimento automotivo, é fundamental adotar metodologias desse tipo de análise, bem como entender o componente em estudo.

Dessa forma, adota-se neste trabalho a norma SAE J1739, cujo objetivo da mesma é direcionar o usuário a executar a análise, não de forma rígida e sem desvios, mas como sugestões que podem ser adaptadas para todos os tipos de projetos. Com a finalidade de apoiar o procedimento descrito na norma mencionada anteriormente, utiliza-se diversos estudos e publicações de especialistas que adotam análises FMEA, para trazer aplicações práticas e aliá-las à teoria, facilitando a aplicação do conhecimento.

Os valores foram selecionados de acordo com a escolha do grupo de trabalho da empresa, chegando a um consenso entre todos os valores levando em consideração as normas internas da companhia, composto por 5 pessoas de áreas distintas.

Para uma melhor identificação da ocorrência no DFMEA, a coluna de ocorrência está após as ações preventivas – uma vez que essas são consequência direta de se poder prevenir o ocorrido (NUÑEZ, 2017) – o cabeçalho da folha de trabalho conta com as seguintes colunas:

- N° - Identificação do item;
- Elemento;

- Função;
- Modo de falha potencial;
- Efeito de falha;
- SEV – Severidade;
- Causa de falha potencial;
- Ações Preventivas;
- OCC – Ocorrência
- Ações detectivas;
- DET – Detecção;
- RPN – Número de prioridade de risco;

Ações recomendadas.

3.4 Demonstração

A etapa de demonstração do método DSR deve comprovar a aplicabilidade do estudo, no que se refere a apresentar cenários de sua utilização no mundo real. Visto que a proposta do trabalho é trazer uma análise FMEA aplicado a um sistema de abastecimento automotivo existente. São apresentados casos e causas de problemas possíveis, de forma a evidenciar a importância de aplicar as ações sugeridas pela análise (NUÑEZ, 2017).

A demonstração será realizada através da publicação deste trabalho, bem como sua apresentação e revisão para a banca examinadora.

3.5 Avaliação

A avaliação, referente ao método DSR, é o processo de verificação de funcionalidade da pesquisa, verificando a consistência da análise FMEA apresentada. Além disso, deve ser especificado se a pesquisa será avaliada para atender a um cenário específico (estudo de caso pontual) ou a cenários gerais (estudo de caso que abrange um problema genérico).

Nesse contexto, o estudo deste trabalho é caracterizado como um estudo de caso pontual, que deverá ser avaliado antes, durante e depois da sua realização, sendo capaz de aprimorar a assertividade do produto, prevenir a ocorrência e/ou mitigar os efeitos, caso os possíveis modos de falha ocorram (NUÑEZ, 2017).

3.6 Comunicação

Por fim, o método DSR exige a divulgação da pesquisa e sua importância para com o mundo científico, por meio da comunicação dos principais resultados do trabalho em forma de publicações acadêmicas, difundindo o procedimento de elaboração da análise e sua aplicação no mundo real (NUÑEZ, 2017).

4 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos neste trabalho. O estudo foi realizado e detectaram-se 16 modos de falha potenciais, os quais estão explicados e discutidos. Além disso, serão apresentados os valores de Severidade, Ocorrência, Detecção e, por fim, o RPN. Para uma melhor apresentação, a folha de trabalho contendo a análise DFMEA está disponível no apêndice A deste trabalho.

Primeiramente, conforme norma SAE J1739, são informados os dados de identificação do projeto sob análise, sendo eles:

- Sistema: Conjunto de Abastecimento de Combustível;
- Subsistema: Conjunto do tudo de abastecimento de combustível;
- Responsável: Reinaldo Vaz de Lima;
- Tipo de Análise: DFMEA;
- Revisão: 2;
- Organização: UTFPR;
- Logomarca da organização.

Todos os itens contam com a mesma descrição de Elemento e Função, portanto essas colunas serão suprimidas das tabelas deste capítulo, sendo inseridas abaixo, como complemento a todos os itens discutidos em sequência. No entanto, pode-se encontrar o FMEA completo no Apêndice A.

- Elemento: Conjunto Abastecimento de Combustível
- Função: Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório.

4.1 Modos de falha

Desta forma, inicia-se a análise de cada item do elemento conjunto tudo de abastecimento de combustível, como segue.

4.1.1 Item 1

Quadro 4 - Item 1

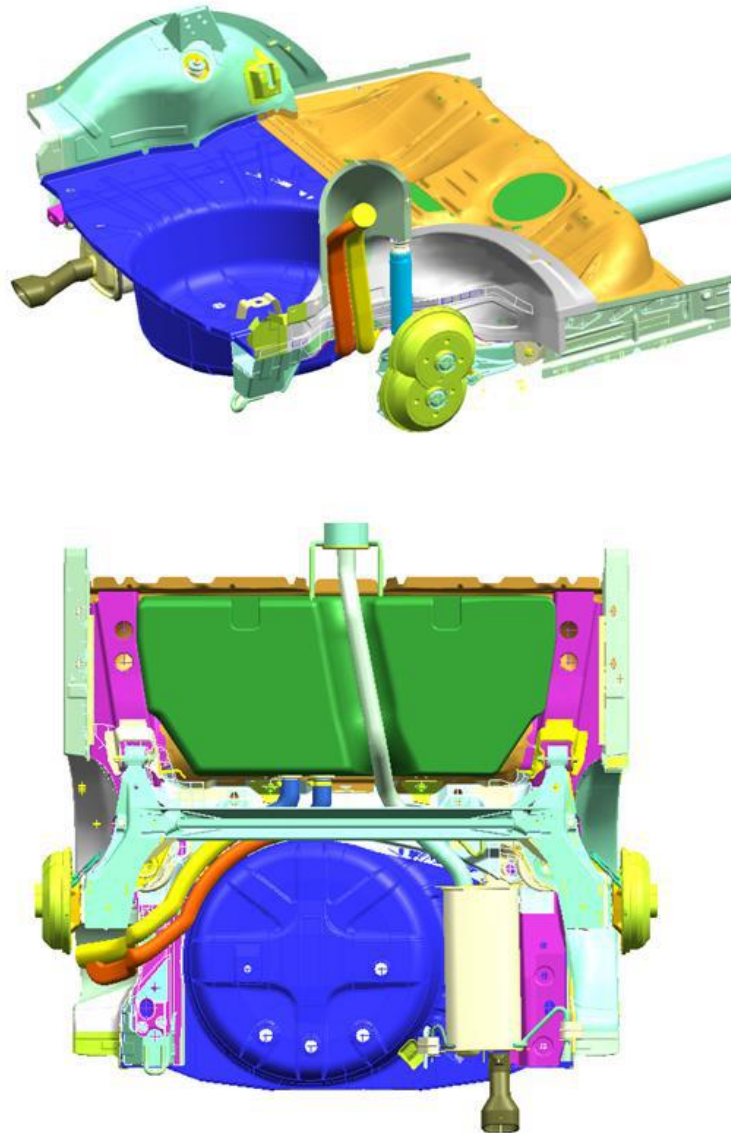
Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
1	Contato entre componentes	Abrasão	5	Distancia Insuficiente entre tubo de enchimento de combustível e partes fixas	Prever distância mínima de 12mm	1	Verificação CAD e teste de montagem	2	10	

Fonte: Autoria própria

A análise FMEA do item 1, demonstrado pelo Quadro 4, traz as informações pertinentes à identificação do mesmo e, em sequência, o modo de falha potencial, efeito de falha, severidade, causa de falha potencial, ações preventivas, ocorrência, ações detectivas, detecção e o RPN.

Devido à complexidade da forma do gargalo, passando por um ambiente repleto de componentes de diversos materiais e formas, deve-se tomar atenção à proximidade. Na Figura 15, verifica-se uma ilustração, nas vistas isométrica e inferior, respectivamente, da unidade traseira de um veículo, cujo trajeto realizado pelo gargalo – representado pelo tubo na cor amarela – e a proximidade do mesmo com outros componentes fixos, como é o caso do componente responsável por acomodar o estepe do veículo – em azul escuro – ou ainda os componentes de lataria que envolvem a roda do veículo – identificado na cor cinza claro.

Figura 15 - Detalhes do ambiente unidade traseira



Fonte: PENTEADO (2009)

O potencial modo de falha identificado neste item é a Interferência, cujo efeito é a abrasão do tudo plástico – o que gerará um desgaste futuro no componente – ocasionado por uma distância insuficiente entre as partes fixas do veículo. Tal efeito de falha deve considerar uma severidade moderada, visto que em curto prazo o desgaste do componente não afeta o desempenho e poderia ser detectado em manutenções periódicas preventivas. Portanto, considerou-se uma severidade moderada de ordem 5.

A fim de garantir que os componentes do conjunto de introdução de combustível não tenham nenhum tipo de contato indesejado com quaisquer outros componentes fixos, prever-se-á uma distância mínima de 12mm, valor que garante o espaçamento considerando as tolerâncias de desvio para o conjunto. Desta forma, considerou-se uma ocorrência mínima 1, visto que a ação preventiva adotada suprime a possibilidade de ocorrência.

A ação detectiva pode ser realizada através da análise virtual do veículo, em sistemas CAD, para desenvolvimento e, posteriormente, através de teste de montagem físico, com o componente contando com alto grau de representatividade do componente final. Portanto, o grau de detectabilidade selecionado foi 2.

Dessa forma, através da multiplicação entre a severidade, ocorrência e detectabilidade, o RPN para o item 1 é d10.

4.1.2 Item 2

Quadro 5 - Item 2

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
2	Contato entre componentes	Abrasão	5	Distancia insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (parte metálica) e partes móveis (suspensão, pneus, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	10	

Fonte: Autoria própria

O item 2 da análise FMEA, demonstrado no Quadro 5, se refere ao mesmo sistema, função, modo de falha potencial e efeito de falha potencial do item 1. No entanto se refere à interferência do conjunto do tudo de abastecimento de combustível com partes móveis, de forma que raciocínio para a justificativa da escolha da severidade, de ordem 5.

A causa dessa falha potencial é caracterizada pela proximidade com que os componentes em questão possam ter contato com as partes móveis do veículo. Utilizando novamente a Figura 15, pode-se notar a proximidade desses componentes com os que compõe o conjunto da suspensão – visíveis na cor ciano, na vista inferior. Assim a ação preventiva é, também, prever um espaçamento, cuja distância mínima seja de 25mm. Dessa forma, considera-se neste item a ocorrência mínima 1, pela eficácia representada na ação preventiva.

Da mesma forma do item 1, a ação detectiva pode ser realizada por meio de análise digital em software CAD, seguido por um teste físico de montagem. Portanto, o grau de detectabilidade selecionado foi também o grau 2.

Desta maneira, multiplicando-se a severidade, OCC e DET, temos um RPN da ordem de 10.

4.1.3 Item 3

Quadro 6 - Item 3

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
3	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e borracha) e partes fixas lisas	Prever distância mínima de 6mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar distância dos componentes de borracha com partes da carroceria em algumas revisões

Fonte: Autoria própria

O item 3 refere-se a um modo de falha potencial de Interferência e Vazamento de Combustível, conforme Quadro 6, sendo o efeito dessa falha o risco de incêndio. Como já informado no presente trabalho, o incêndio automotivo é um evento catastrófico, que traz um grande risco à segurança dos usuários. Devido esse modo de falha afetar a operação segura do sistema, o peso da severidade selecionado é o máximo sugerido pela tabela, de ordem 10.

A causa da falha potencial é fruto da distância insuficiente entre o tubo de abastecimento de combustível (suas partes plásticas e de borracha) e partes fixas lisas do veículo. A forma de prevenção para esta causa de falha é prever uma distância, entre os dados componentes, de 6mm. Dessa forma, considera-se que a causa da falha é ocasional, sendo assim classificada com um peso de ordem 5.

Em relação às ações detectivas, as verificações em ambiente CAD e testes de montagem perfazem uma forte capacidade de detecção, de forma que o peso da detecção seja 2, de acordo com a tabela utilizada no presente trabalho.

Por fim, multiplicando-se a SEV, OCC e DET, temos o RPN com valor de 100 e, adicionalmente, é recomendada uma verificação da distância dos componentes de borracha para com as partes da carroceria durante algumas revisões preventivas.

4.1.4 Item 4

Quadro 7 - Item 4

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
4	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância, entre fixações, menor que 250mm	Prever distância mínima de 5mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Prever fixação dos tubos de vapor com o uso de suportes para deixar o layout bem definido conforme distâncias mínimas

Fonte: Autoria própria

Conforme Quadro 7 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o item 4 apresenta o modo de falha como interferência e vazamento de combustível, tal como o item 3. Consequentemente, o efeito desta falha é o risco de incêndio, perfazendo uma severidade de ordem 10.

A causa desta falha potencial é a distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância entre fixações menor do que 250mm. A ação preventiva para esse modo de falha pode ser realizada prevendo uma distância mínima de 5mm entre as tubulações e as partes fixas lisas do veículo. Assim como no item 3, a ocorrência terá valor de 5.

As ações detectivas para essas possíveis interferências podem ser realizadas através de verificação em ambiente digital CAD e por testes de montagem, para garantir que o produto final siga as especificações de seu gêmeo digital. Desta forma, a detecção para o item 4, segundo a tabela utilizada pelo presente trabalho, é de 2.

Perfazendo assim o valor do RPN de 100, ao multiplicarmos os valores de severidade, ocorrência e detecção. Além disso, recomenda-se prever a utilização de suportes, como o exemplar na Figura 16, para garantir o arranjo correto da tubulação, conforme distâncias mínimas.

Figura 16 - Suporte Linha Combustível VW Polo



Fonte: LOJA VIRTUAL VOLKSWAGEN (2022)

4.1.5 Item 5

Quadro 8 - Item 5

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
5	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar proximidade da mangueira com eventuais arestas cortantes

Fonte: Autoria própria

De acordo com o Quadro 8, o item 5 apresenta o modo de falha potencial em interferência e vazamento de combustível, cujo efeito da falha é o risco de incêndio do veículo. Assim como nos itens 3 e 4, para este efeito de falha considera-se uma severidade de magnitude 10.

A causa de falha potencial para este modo e efeito de falha é a distância insuficiente entre o tubo de enchimento de combustível (em que envolve suas partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes. A ação preventiva para esta causa de falha é prever uma distância mínima de 25mm entre tais componentes. Dessa forma, a ocorrência, assim como nos itens anteriores, será de magnitude 5.

A ação detectiva para o modo de falha do item 5 é a mesma considerada nos itens 3 e 4, sendo ela a verificação em ambiente digital, através de sistema CAE, e via teste de montagem físico para garantir que a peça final esteja de acordo com o especificado no modelo digital. Portanto, a detecção selecionada é 2.

Dessa forma, o RPN do modo de falha do item 5 é de valor 100, resultado da multiplicação entre a severidade, ocorrência e detecção. Adicionalmente, recomenda-

se a ação de verificar de forma duplicada a proximidade da tubulação com eventuais arestas cortantes.

4.1.6 Item 6

Quadro 9 - Item 6

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
6	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e partes móveis (suspensão, pneu, corretores de frenagem, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Conferir distância e posicionamento entre mangueira e partes móveis da suspensão

Fonte: Autoria própria

O item 6, apresentado pelo Quadro 9, tem o modo de falha potencial de interferência e vazamento de combustível, sendo o efeito dessa falha o risco de incêndio. Assim como os itens 3, 4 e 5, seleciona-se uma severidade com valor de 10 para este efeito de falha.

A causa da falha potencial é a distância insuficiente entre o tubo de abastecimento de combustível (suas partes plásticas e de borracha) e partes móveis, como componentes do conjunto de suspensão, pneus, entre outros. Para prevenir essa possibilidade, deve-se prever uma distância mínima de 25mm entre os componentes impactados. Performando assim uma ocorrência de valor 5, assim como descrito no item 3.

A ação detectiva para garantir a prevenção deste evento é a verificação dos componentes via ambiente digital, através de sistema CAD, e teste de montagem, a fim de garantir que os componentes finais não tenham desvio, referente à definição técnica. Portanto, assim como no item 3, o valor da detecção para esse item é de 2.

Logo, o RPN do item 6 tem o valor de 100, resultado da multiplicação da severidade, ocorrência e detecção. Adicionalmente, recomenda-se realizar dupla conferência entre o posicionamento e distância entre a tubulação e partes móveis da suspensão, devido a quantidade de componentes móveis, o tamanho destes e, principalmente, a proximidade para com o sistema de reabastecimento.

4.1.7 Item 7

Quadro 10 - Item 7

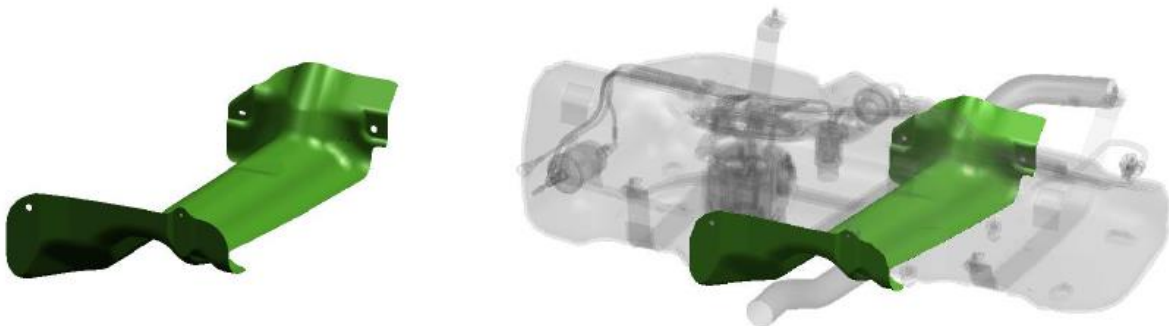
Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
7	Contato entre componentes e vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e fontes de calor	Prever distância mínima de 50mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20	

Fonte: Autoria própria

O item 7, representado pelo Quadro 10, apresenta como provável modo de falha potencial a interferência e vazamento de combustível, ocasionando o efeito de risco de incêndio e, assim como os itens de 3 a 6, tem severidade de valor 10.

A causa de falha potencial desse item refere-se a distância insuficiente entre tubo de abastecimento de combustível e fontes de calor do automóvel. Segundo Penteado (2009), deve-se sempre ter cuidado com a proximidade entre as partes, principalmente plásticas – em que a temperatura de fluidez é em torno de 120 °C – ou de borracha, e o sistema de exaustão do veículo, o qual irradia calor, e pode ser danoso ao sistema de abastecimento. No caso de reservatórios de combustível, por exemplo, geralmente é utilizado um defletor de calor metálico, revestido com zinco e com acabamento reflexivo. Conforme exemplo na Figura 17, temos a esquerda o exemplo do defletor e, na direita, o defletor e reservatório associados.

Figura 17 - Tipo de defletor de calor para reservatório de combustível



Fonte: PENTEADO (2009)

Dessa forma, para o item 7 a ação preventiva a ser utilizada é a previsão de uma distância mínima de 50mm entre as partes que apresentam alguma irradiação de calor e os componentes plásticos e de borracha do conjunto de abastecimento. Ação que garante uma distância segura para os componentes, de acordo com as práticas

de concepção – consideradas normas de concepção e desenvolvimento de produto, dentro da montadora. Ao garantir a distância correta, a probabilidade de ocorrência é eliminada, impactando em um valor de ocorrência de 1.

As ações detectivas para garantir as distâncias mencionadas acima, podem ser realizadas por meio de análise em ambiente virtual, através de sistemas CAD, e por meio de teste de montagem, a fim de garantir que o produto final está conforme sua representação digital. Seguindo a tabela de critério de detecção, considerando apenas necessidade de correlação virtual, o valor selecionado para a detecção será 2.

Desta forma, o RPN terá o valor de 20, resultado da multiplicação da severidade, ocorrência e detecção selecionados.

4.1.8 Item 8

Quadro 11 - Item 8

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
8	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distancia insuficiente entre mangueiras e partes cortantes, considerando teste de impacto traseiro	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar resultados de simulação de crash test com todos os componentes montados

Fonte: Autoria própria

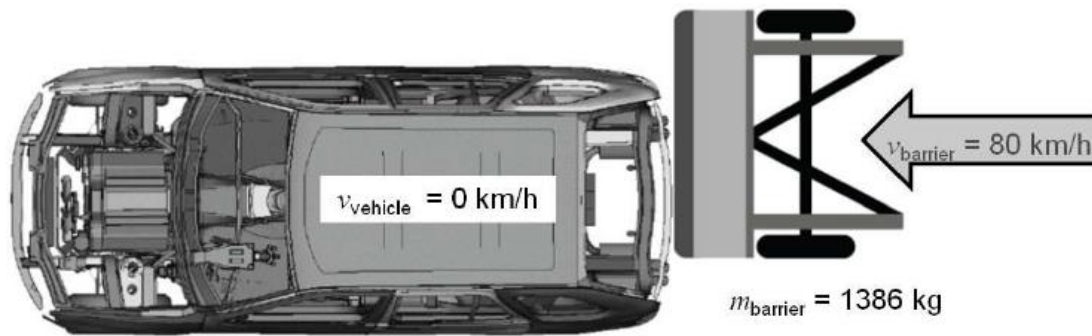
O item 8, representado pelo Quadro 11, tem modo de falha potencial de interferência e vazamento de combustível, sendo o efeito de falha o risco de incêndio. Para esse caso, assim como os itens de 3 a 7, considera-se uma severidade de valor 10.

A causa potencial dessa falha ocorre quando existe distância insuficiente entre tubulações do sistema de abastecimento e partes cortantes após teste de impacto traseiro.

O teste de impacto (do inglês *crash test*) é um recurso utilizado pelos fabricantes automotivos, e exigido por lei em alguns países, para determinar o nível de segurança de um modelo de veículo e quanto ele é seguro para seus ocupantes, classificação geralmente fornecida com uma nota de 0 a 5. Existem diversos tipos de teste de impacto, como exemplo existem os testes de impacto frontal, lateral, traseiros, dentre outros (DUDDECK, 2012).

Na Figura 18 verificar-se uma ilustração de realização de teste de impacto traseiro, em que uma massa é arremessada contra o veículo estático. Pesos e velocidades são utilizados de acordo com a norma e nível de segurança que a montadora está testando o veículo (DUDDECK, 2012).

Figura 18 - Ilustração do teste de impacto traseiro



Fonte: DUDDECK (2012)

A causa do modo de falha levantado para o item 8 reflete o tipo de problema que deve ser analisado para garantir a segurança dos usuários, durante eventuais colisões automotivas. Por esse motivo, considera-se como ação preventiva prever uma distância mínima entre o conjunto de abastecimento e partes cortantes após o teste de impacto traseiro – região onde está localizado o conjunto de abastecimento para o modelo de veículo em análise. Tal verificação pode ocorrer através de simulações de teste de impacto, em ambiente virtual, através de sistemas CAE. Dessa forma, a ocorrência selecionada tem magnitude 5.

As ações detectivas para o item 8 estão alinhadas com as ações anteriores e são a verificação em ambiente virtual, utilizando o veículo pós simulação de teste de impacto – inserida também como ação recomendada – bem como um teste de montagem dos componentes, a fim de garantir que as posições físicas reais sejam as mesmas previstas no modelo virtual. Portanto, a detecção selecionada é de valor 2.

Logo, o RPN tem resultado 100, fruto da multiplicação entre severidade, ocorrência e detecção.

4.1.9 Item 9

Quadro 12 - Item 9

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
9	Dificuldade de montagem e desmontagem durante reparação	Alto custo manutenção	5	Espaço insuficiente no percurso de montagem e desmontagem do conjunto	Prever distância mínima de 15mm em torno do conjunto em seu percurso de montagem e desmontagem	2	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20	

Fonte: Autoria própria

O item 9, representado pela Quadro 12, apresenta o modo de falha potencial de dificuldade de montagem e desmontagem durante reparação, cujo efeito de falha é o alto custo de manutenção.

A partir da década de 60, a reparação de veículos é utilizada como ferramenta de marketing, sendo suas premissas fácil acesso à rede de oficinas, fácil e rápida execução e ainda com o valor mais baixo possível. Dessa forma, o mercado de manufatura tem tomado a direção de que os produtos são produzidos por várias empresas e, este direcionamento, tem forçado as companhias a diferenciarem-se por meio dos serviços de pós-vendas (VASCONCELLOS, 2007).

O custo variável relacionado à reparação automotiva é composto por mão de obra dos empregados diretos, peças diretas, despesas de material e utilização de equipamentos de teste. A mão de obra se torna variável de acordo, principalmente, com tempo e dificuldade de reparação da peça ou conjunto de peças a ser substituído/recondicionado, ou seja, quanto maior a dificuldade de montagem e desmontagem, maior o tempo gasto nessa tarefa. Conseqüentemente, maior será o valor dessa variável no custo final do reparo (VASCONCELLOS, 2007).

Portanto, considerando o impacto da reparação para o cliente, o modo de falha apresentado pelo item 9 será percebido por 100% dos clientes, quando necessário realizar manutenções nessa parte do veículo, impactando diretamente no tempo de manutenção e em que o automóvel deverá ficar inoperante. Dessa forma, a severidade selecionada, a partir da tabela de severidade, é de 5.

A causa do provável modo de falha apresentado para o item 9 é o espaço insuficiente no percurso de montagem e desmontagem do conjunto. Dessa forma, a ação preventiva para mitigar a ocorrência da falha potencial é prever uma distância

mínima de 15mm em torno do conjunto, em seu percurso de montagem e desmontagem. Perfazendo assim um valor de ocorrência baixa, de ordem 2.

A ação detectiva para esse item é composta por análise em ambiente digital, de forma a garantir sua concepção considerando a ação preventiva mencionada acima e, posteriormente, realizar um teste de montabilidade do conjunto, para garantir que o produto físico segue o que está previsto pelo projeto. Ações que impactam em uma forte capacidade de detecção, sendo assim selecionado um valor de DET igual a 2.

Portando, o RPN para o item 9 é de 20, resultado da multiplicação entre severidade, ocorrência e detecção.

4.1.10 Item 10

Quadro 13 - Item 10

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
10	Folga entre cabeça do tubo de enchimento e acabamento da carroceria	Odor de Combustível	6	Desalinhamento entre cabeça do tubo de enchimento e acabamento da carroceria	Prever tolerâncias, pontos de fixação e de posição da cabeça do tubo de enchimento em conformidade com o acoplamento da carroceria	2	Verificação CAD Teste de Montagem	2	24	

Fonte: Autoria própria

A Quadro 13 representa o item 10, cujo modo de falha potencial é a folga entre o bocal do tubo de abastecimento e a carroceria do veículo. O efeito ocasionado por esse modo de falha potencial é o odor de combustível, oriundo da evaporação do mesmo. Os gases da evaporação de combustível não podem ser expelidos, devido a poluição que estes podem causar ao ar atmosférico (HIRAMATSU, 1979).

Por se tratar de um efeito de falha que resulta em dispersão de gases oriundos do combustível, julga-se uma perda de função secundária, uma vez que o conjunto continua a funcionar, porém não cumpre totalmente sua função de retenção. Dessa forma, o valor da severidade para esse modo de falha é de 6.

A causa de falha potencial para o item 10 é o desalinhamento entre a cabeça do tubo de abastecimento e o acabamento da carroceria. A fim de mitigar tal ocorrência, deve-se prever tolerâncias, pontos de fixação e de posição do bocal em conformidade com o acoplamento na carroceria, de forma que não haja

desalinhamento e, conseqüentemente, espaços entre os componentes – infelizmente tais tolerâncias são informação confidencial da montadora, de tal forma que os valores não poderão ser apresentados neste trabalho. Com a utilização de tais tolerâncias, nenhuma causa dessa falha é observada nos automóveis comercializados. Sendo assim o valor da ocorrência é de 2.

A ação detectiva para prever as tolerâncias mencionadas acima é uma verificação em ambiente virtual, através de software CAD, garantindo que todas as premissas de concepção da empresa foram corretamente aplicadas. Posteriormente, deve realizar um teste de montabilidade, a fim de garantir que o produto final segue a proposta em ambiente virtual. Ocasionalmente assim uma detectabilidade de valor 2.

Por fim, o RPN do item 10 terá o valor de 24, resultado da multiplicação entre a severidade, ocorrência e detectabilidade selecionadas.

4.1.11 Item 11

Quadro 14 - Item 11

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
11	Vazamento de Combustível	Risco de incêndio	10	Layout dos tubos inadequados e com risco de perfuração	Prever proteção adequada aos tubos quando houver risco de perfuração por projeção de corpo estranho	5	Verificação CAD Teste de projeção de pedras	3	150	Garantir que layout do corrugado esteja completamente atrás do para barro

Fonte: Autoria própria

A Quadro 14 apresenta a análise FMEA do item 11, cujo modo de falha potencial é o vazamento de combustível, no qual o efeito da falha é o risco de incêndio veicular. Assim como no item 3, o risco de incêndio terá um valor de severidade de 10, por se tratar de uma falha catastrófica, com risco aos usuários.

Esse modo de falha potencial é causado por um projeto do esquema das tubulações inadequado, oferecendo risco de perfuração por corpos estranhos. Dessa forma, a ação preventiva para mitigar o risco é a aplicação de proteção em regiões suscetíveis à projeção de pedras e quaisquer outros tipos de corpos estranhos que possam acessar o local. Por esse modo de falha ser apresentado em testes, os quais geralmente demonstram regiões não previstas, será considerada uma ocorrência de valor 5.

A ação detectiva para o item 11 consiste em realizar uma análise em ambiente digital, detectando áreas suscetíveis a projeção de corpos estranhos bem como testes físicos de projeção de pedras, em pista de testes automotivos, utilizando veículos protótipos. Tais testes são realizados antes do congelamento do projeto – momento em que a definição técnica é selecionada e, para realizar qualquer modificação, deve-se passar por comitês específicos e validar tal proposta, um processo complexo para garantir a qualidade da modificação – e, portanto, o valor adotado para a detectabilidade é de 3.

Por fim, o RPN para o item 11 tem resultado de 150, resultado da multiplicação entre severidade, ocorrência e detectabilidade.

4.1.12 Item 12

Quadro 15 - Item 12

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
12	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Desprendimento das presilhas de retenção dos tubos	Utilizar presilhas adequadas que tenham bom sistema de travamento no seu suporte Carga de Arrancamento: 100N	2	Verificação CAD Teste de Arrancamento	3	60	

Fonte: Autoria própria

O item 12, representado pelo Quadro 15, refere-se a um modo de falha potencial de interferência e vazamento de combustível, cujo efeito da falha é o risco de incêndio. Assim como no item 3, assume-se severidade 10 para esse efeito.

A causa dessa falha potencial acontece devido o desprendimento das presilhas de retenção das tubulações do conjunto de abastecimento do veículo. As presilhas têm a função de prender as tubulações e perfazer o arranjo das mesmas. A ação preventiva para o modo de falha do item 12 consiste em utilizar presilhas adequadas, que tenham bom sistema de travamento no suporte, resistindo a uma carga de arrancamento de 100N. Dessa forma, garante-se baixa probabilidade de ocorrência, não existindo histórico na montadora de ocorrência da falha, assim performando um valor de ocorrência 2.

A ação detectiva sugerida para esse modo de falha é uma verificação CAD, em ambiente digital, de forma a garantir o arranjo dos tubos e a posição das presilhas, seguindo as normas de concepção e desenvolvimento de produto da empresa.

Posteriormente, deve-se realizar um teste de arrancamento nas presilhas, a fim de garantir a resistência necessária dada pela ação preventiva, de 100N. Por necessitar de um teste de validação adicional, antes de o projeto ser congelado, utiliza-se o valor 3 para a detecção.

Perfazendo, dessa forma, o valor total de 60 para o RPN, resultado da multiplicação entre a ocorrência, severidade e detectabilidade.

4.1.13 Item 13

Quadro 16 - Item 13

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
13	Produto não conforme	Travamento da tampa durante montagem	8	Incompatibilidade entre a rosca do bocal e rosca da tampa	Adequação dos dimensionamentos e das tolerâncias da rosca do bocal em relação às tolerâncias da tampa	2	Análise CAD Controle dimensional Teste de estanqueidade	3	48	

Fonte: Autoria própria

O Quadro 16 traz a análise FMEA relacionada ao item 13, cujo modo de falha potencial é o travamento da tampa durante a montagem, o que ocasiona uma não conformidade de produto. Efeito esse classificado como 8 devido a perda da função primária, de abastecimento, no entanto não apresenta risco à segurança dos ocupantes do veículo.

A causa da falha potencial desse item refere-se à incompatibilidade entre a rosca do bocal e a rosca da tampa. Para mitigar a ocorrência dessa falha, é necessário realizar a adequação dos dimensionamentos e das tolerâncias da rosca do bocal em relação às tolerâncias da tampa. Desta forma, seleciona-se a ocorrência de valor 2.

Para esse item, utiliza-se as ações detectivas de análise CAD, em ambiente virtual, o controle dimensional das peças, para garantir que o produto final esteja de acordo com a proposta de projeto, e, posteriormente, um teste de estanqueidade para garantir a eficácia do sistema. Por esse último, a detectabilidade terá o valor de 3.

Perfazendo assim o valor do RPN de 48, resultado da multiplicação entre a severidade, ocorrência e detectabilidade.

4.1.14 Item 14

Quadro 17 - Item 14

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
14	Montagem da versão incorreta do tudo de enchimento no veículo (Ex: conj. Tubo enchimento versão flex em veículo diesel)	Impossibilidade Abastecimento	8	Ausencia de identificação visual	Reconhecimento da versão correta, fazer diferenciação através da cor das mangueiras de borracha/ marcas de identificação de rápida visualização	3	Verificação CAD Teste de montagem	1	24	

Fonte: Autoria própria

O item 14, contido no Quadro 17, representa o modo de falha potencial de montagem da versão incorreta do tubo de abastecimento no veículo, sendo utilizado alguma outra variante de outro veículo. O efeito dessa falha é a impossibilidade de abastecimento, causando assim uma pane imobilizante, no entanto sem oferecer algum risco aos ocupantes. Dessa forma, o valor selecionado para a severidade é 8.

A causa da falha potencial é a ausência de identificação pessoal para distinção nos fluxos de logística e linha de montagem, em que se pode tomar como ação preventiva o reconhecimento da versão correta, através das cores das mangueiras e marcas de identificação de rápida visualização. Tais ações inferem uma ocorrência de valor 3.

Como ações detectivas, adota-se verificação em ambiente CAD, garantindo que os produtos apresentem os dispositivos de identificação rápida e as cores sugeridas para cada variante do componente, bem como teste de montagem para garantir que o produto físico apresenta as premissas do produto virtual, resultando em uma detectabilidade 1.

Portanto o RPN para o item 14 tem valor 24.

4.1.15 Item 15

Quadro 18 - Item 15

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
15	Presença de corpo estranho no interior do reservatório de combustível	Contaminação do combustível	7	Ausência de proteção no conjunto durante transporte e manuseio	Prever tampas de proteção em todos os furos ou embalagens fechadas, que impeçam a entrada de corpos estranhos	2	Check desenho 2D Teste de eficácia das tampas ou embalagens	1	14	

Fonte: Autoria própria

O Quadro 18 refere-se à análise FMEA do item 15, cujo modo de falha potencial é a presença de corpos estranhos no interior do reservatório de combustível, o que ocasionaria na contaminação do mesmo. Esse modo de falha geraria a degradação da função primária do sistema. Portanto, o valor selecionado para a severidade é de 7.

A causa dessa falha potencial tem origem em ausência de proteção no conjunto, durante o transporte e manuseio. Para mitigar o risco de ocorrência, deve-se prever tampas de proteção em todos os furos ou embalagens fechadas, de modo a impedir a entrada de quaisquer corpos estranhos para dentro do componente. Aplicando tais ações, pode-se considerar um valor de ocorrência 2.

Como ações detectivas, deve-se checar o desenho 2D dos componentes para checar os locais com necessidade de tampa ou os componentes que necessitam de embalagens fechadas e, posteriormente, testar essas embalagens a fim de garantir a proteção prevista. Tais soluções previnem em totalidade a chance de ocorrência do modo de falha, de forma que a detectabilidade é 1.

Portanto o RPN do item 11 tem valor de 14.

4.1.16 Item 16

Quadro 19 - Item 16

Nº	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
16	Presença de corpo estranho no interior do reservatório de combustível	Contaminação do combustível	7	Desprendimento das tampas de proteção no conjunto durante transporte e manuseio	Carga mínima de arrancamento das tampas: $2N < R_f < 15N$ (Conforme caderno de encargos do cliente)	2	Teste de arrancamento das tampas	1	14	

Fonte: Autoria própria

Por fim, o Quadro 19, demonstra a análise FMEA do item 16, cujo modo de falha potencial é a presença de corpo estranho no interior do reservatório de combustível, sendo o efeito da falha a contaminação deste. Assim como no item 15, seleciona-se o valor de severidade de 7.

A causa da falha potencial para esse item é o desprendimento das tampas de proteção do conjunto durante transporte e manuseio, sendo a ação preventiva para mitigar tal risco, prever uma carga mínima de arrancamento das tampas, entre 2N e 15N, conforme demanda a montadora. Adotando essas ações, tem-se uma baixa probabilidade de ocorrência, visto que as tampas não serão removidas, impossibilitando a entrada de qualquer corpo estranho, seleciona-se o valor de ocorrência 2.

As ações detectivas para esse modo de falha consistem em realizar o teste de arrancamento, a fim de garantir a resistência descrita na ação preventiva. De forma que as tampas descritas no item 16 referem-se à embalagem do conjunto e não ao produto em si, não serão considerados ensaios no produto. Portanto, a detectabilidade selecionada será de valor 1.

Finalmente o RPN do item 16 será de 14.

4.2 Plano de ação para os maiores valores de RPN

Quadro 20 - Classificação de criticidade por RPN

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C	Ações Detectivas	D E T	R P N	Ações Recomendadas
11	Vazamento de Combustível	Risco de incêndio	10	Layout dos tubos inadequados e com risco de perfuração	Prever proteção adequada aos tubos quando houver risco de perfuração por projeção de corpo estranho	5	Verificação CAD Teste de projeção de pedras	3	150	Garantir que layout do corrugado esteja completamente atrás do para barro
3	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e borracha) e partes fixas lisas	Prever distância mínima de 6mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar distância dos componentes de borracha com partes da carroceria em algumas revisões
4	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância, entre fixações, menor que 250mm	Prever distância mínima de 5mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Prever fixação dos tubos de vapor com o uso de suportes para deixar o layout bem definido conforme distâncias mínimas
5	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar proximidade da mangueira com eventuais arestas cortantes
6	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e partes móveis (suspensão, pneu, corretores de frenagem, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Conferir distância e posicionamento entre mangueira e partes móveis da suspensão
8	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre mangueiras e partes cortantes, considerando teste de impacto traseiro	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar resultados de simulação de crash test com todos os componentes montados
12	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Despreendimento das presilhas de retenção dos tubos	Utilizar presilhas adequadas que tenham bom sistema de travamento no seu suporte Carga de Arrancamento: 100N	2	Verificação CAD Teste de Arrancamento	3	60	

Fonte: Autoria própria

De acordo com a análise FMEA realizada, o Quadro 20 demonstra a classificação de criticidade dos possíveis modos de falha, do maior para o menor, através dos sete maiores valores de RPN encontrados. Para estes, foram implementados os planos de ação (PdA) descritos no Quadro 21.

Quadro 21 - Planos de ação

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	PdA
11	Vazamento de Combustível	Risco de incêndio	Layout dos tubos inadequados e com risco de perfuração	Prever proteção adequada aos tubos quando houver risco de perfuração por projeção de corpo estranho	Utilizando-se de software CAD para o desenvolvimento do produto, foi garantido que o arranjo da tubulação foi alocada completamente atrás do para barro do veículo. Adicionalmente, foi realizado um teste de projeção de pedras com um veículo contendo a definição técnica aplicada.
3	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e borracha) e partes fixas lisas	Prever distância mínima de 6mm	Através de verificação em software CAD, para o desenvolvimento do produto, e teste físico de montagem em veículo completo, para garantir conformidade do produto final, pôde-se garantir o espaçamento solicitado de 6mm, entre a tubulação e as partes fixas lisas do veículo.
4	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância, entre fixações, menor que 250mm	Prever distância mínima de 5mm	Através de verificação em software CAD, para o desenvolvimento do produto, e teste físico de montagem em veículo completo, para garantir conformidade do produto final, pôde-se garantir o espaçamento solicitado de 5mm, entre tubulação, tubos de vapor e partes fixas lisas do veículo.
5	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes	Prever distância mínima de 25mm	Através de verificação em software CAD, para o desenvolvimento do produto, e teste físico de montagem em veículo completo, para garantir conformidade do produto final, pôde-se garantir o espaçamento solicitado de 25mm, entre a tubulação e as partes fixas cortantes do veículo.
6	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e partes móveis (suspensão, pneu, corretores de frenagem, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	Através de verificação em software CAD, para o desenvolvimento do produto, e teste físico de montagem em veículo completo, para garantir conformidade do produto final, pôde-se garantir o espaçamento solicitado de 25mm, entre a tubulação e as partes móveis do veículo.
8	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Distância insuficiente entre mangueiras e partes cortantes, considerando teste de impacto traseiro	Prever distância mínima de 25mm	Através de verificação em software CAD e simulação em software CAE, para o desenvolvimento do produto, pôde-se garantir o espaçamento solicitado de 25mm, entre a tubulação e as partes cortantes do veículo após ensaio de impacto traseiro.
12	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	Desprendimento das presilhas de retenção dos tubos	Utilizar presilhas adequadas que tenham bom sistema de travamento no seu suporte Carga de Arrancamento: 100N	Através de verificação em software CAD e realização do ensaio de arrancamento da presilha, pôde-se garantir a carga solicitada, de 100N, garantindo a robustez deste componente perante sua função

Fonte: Autoria própria

Dessa forma, com os planos de ação aplicados, o valor da severidade de cada um dos prováveis modos de falha potencial se mantém, no entanto o valor da ocorrência poderá ser revisto, de forma que, com o plano de ação aplicado, garante-se que tais modos de falha tem probabilidade de ocorrência reduzida. Assim, os novos valores de ocorrência bem como os novos valores de RPN são demonstrados no Quadro 22.

Quadro 22 – Atualização do DFMEA

N°	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E V	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C C	Ações Detectivas	D E T	R P N
11	Vazamento de Combustível	Risco de incêndio	10	Layout dos tubos inadequados e com risco de perfuração	Prever proteção adequada aos tubos quando houver risco de perfuração por projeção de corpo estranho	1	Verificação CAD Teste de projeção de pedras	3	30
3	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e borracha) e partes fixas lisas	Prever distância mínima de 6mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20
4	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância, entre fixações, menor que 250mm	Prever distância mínima de 5mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20
5	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes	Prever distância mínima de 25mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20
6	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e partes móveis (suspensão, pneu, corretores de frenagem, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20
8	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distancia insuficiente entre mangueiras e partes cortantes, considerando teste de impacto traseiro	Prever distância mínima de 25mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20
12	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Desprendimiento das presilhas de retenção dos tubos	Utilizar presilhas adequadas que tenham bom sistema de travamento no seu suporte Carga de Arrancamento: 100N	1	Verificação CAD Teste de Arrancamento	3	30

Fonte: Autoria própria

Pode-se selecionar ainda ações adicionais para mitigar cada um dos itens com alta criticidade. Dentre eles, proposta de novos materiais, soluções de projeto diferentes ou mesmo a aplicação de novas tecnologias.

Nota-se, por diversas vezes, a importância prática da utilização de Gêmeos Digitais, utilizado principalmente para análise de geometrias e, desta forma, gerando

um impacto no custo de projeto, bem como na prevenção de diversos possíveis modos de falha. Resultado que replica o que foi demonstrado no trabalho de Li et.al (2022), no qual é apresentado um estudo sobre desenvolvimento de produtos utilizando gêmeos digitais em que, segundo os autores, o conhecimento sobre a operação do assunto poderá auxiliar em análise de riscos e identificação de sistemas e subsistemas a serem aprimorados.

Nos itens cujo modo de falha envolve perfurações na tubulação devido contato ou projeção de corpos estranhos (item 11, 3, 4, 5, 6 e 8) ou mesmo para itens relacionados à dissipação térmica de componentes do veículo – apesar de não constarem na lista de maiores prioridades – propõe-se a utilização da tecnologia empregada no trabalho de Giallonardo e Zavaglia (2014), no qual é estudado a aplicação de revestimento cerâmico em tubulações.

Como ação adicional para os itens com algum problema relacionado ao calor dissipado pelos componentes do veículo, recomenda-se a instalação de isolantes térmicos tais como mantas isolantes de material de baixa condutividade térmica ou fitas adesivas de material refratário (MORAES, 2018).

O grande problema relacionado a tais aplicações é que as mantas térmicas apresentam espessura demasiadamente grande, com algum prejuízo na montagem. Já as fitas adesivas isolantes contam com o inconveniente da dificuldade de montagem com boa qualidade final. Para isso Moraes (2018), apresenta em seu trabalho um estudo referente à aplicação de revestimento cerâmico como barreira térmica aplicado à superfície externa da tubulação de escapamentos, por meio da deposição deste material. Tal aplicação ainda traz benefícios colaterais, como maior resistência a trincas e maior resistência mecânica (GIALLONARDO; ZAVAGLIA, 2014).

Para o item 12, sugere-se novos estudos relacionados à aplicação de novos materiais, bem como novas possibilidades de projeto, através da utilização da manufatura aditiva para a produção de presilhas mais eficientes. Exemplo disso foi demonstrado no trabalho de Kim et.al (2022), no qual utilizou-se o material Poliamida 12 reciclado, através da metodologia de manufatura aditiva Sinterização Seletiva a Laser (SLS – do inglês *Selective Laser Sintering*). Fica como recomendação para trabalhos futuros o estudo aprofundado da aplicação dessa tecnologia em conjuntos de abastecimento automotivo, a fim de proporcionar menores camadas de revestimento e assim beneficiar as possíveis formas de arranjo.

5 CONCLUSÃO

Conforme proposto no objetivo geral, o presente trabalho elaborou uma análise de modo e efeito de falha de projeto, de forma a realizar uma revisão e otimização de uma análise utilizada na indústria automotiva, posteriormente sugerindo melhorias, com base em novas pesquisas e estudos pertinentes ao tema. Bem como a validação do mesmo com um especialista, sendo este o orientador e a banca do presente trabalho.

Inicialmente buscou-se realizar uma fundamentação teórica robusta, coletando dados e conceitos por meio de pesquisas em diversos trabalhos nacionais e internacionais, envolvendo os assuntos de desenvolvimento de projetos, assuntos técnicos relacionados aos automóveis, ao sistema impactado no presente trabalho e dados referentes à acidentes automotivos ligados ao sistema abordado, além de uma densa explicação, em forma de tutorial, referente à norma SAE J1739.

Dessa forma, realizou-se a análise do DFMEA por modo de falha, conforme sugerido pela norma, explicando a utilização dos valores de Severidade, Ocorrência e Detectabilidade, de acordo com a lógica qualitativa respectivamente pela tabela de cada item.

Para os itens com os sete maiores RPN's, foi sugerido a utilização de novas tecnologias e aplicações, através da deposição de um revestimento cerâmico em tubulações, cujo efeito desejado é incrementar a resistência à abrasão e à projeção de corpos estranhos (MORAES, 2018; GIALONARDO; ZAVAGLIA, 2014). E através da utilização de materiais, processos produtivos e geometrias de projeto alternativos, solucionar o problema relacionado às presilhas e componentes desse tipo (KIM et.al, 2022).

Para esse último, sugere-se ainda uma pesquisa mais aprofundada utilizando projeto generativo (do inglês – *Generative Design*), no qual um sistema, em geral plataformas CAD, realizam uma otimização no projeto, utilizando as funções do componente como requisitos, melhorando assim a geometria, geralmente complexa, de forma a economizar em material, além de suprir as exigências de esforços do componente (OH et.al, 2019).

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. **Engenharia de fabricação mecânica**. 1. Ed - Rio de Janeiro: Elsevier, 2018
- AHRENS, M. U.S. **Vehicle Fire Trends and Patterns**. NFPA. Junho, 2010, 11 f.
- AHRENS, M. U.S. **Trends and Patterns of U.S. Fire Loss**. NFPA. Janeiro, 2017, 21 f.
- ALENCAR, Antonio; SCHMITZ, Eber. **Análise de Risco em Gerência de Projetos**. Rio de Janeiro: Brasport, 2005. 172p.
- ANFAVEA – Associação Nacional Dos Fabricantes De Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2018**. São Paulo, 2018
- ARAÚJO, Natália de Jesus; TOLEDO, Bruna Nagatsu de. **Caracterização de materiais poliméricos utilizados em componentes automotivos**. 62f. 2018. Monografia (Graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018. Disponível em: < <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4234/1/Bruna%20Nagatsu%20de%20Toledo%20-%20Natalia%20de%20Jesus%20Araujo.pdf> >. Acesso em: 22 de outubro de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS. **Referencial Brasileiro de competências (RBC)**. 2005. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/67154829-Referencial-brasileiro-de-competencias.html> >. Acesso em: 07 de agosto de 2022.
- BANERJEE, R.; ISAAC, Kevin. **A numerical study of automotive gas tank filler pipe two phase flow**. SAE WORLD CONGRESS, 2001. Detroit Michigan, USA, SAE 2001-01-0732. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/277250530_A_Numerical_Study_of_Automotive_Gas_Tank_Filler_Pipe_Two_Phase_Flow >. Acesso em: 15 de outubro de 2022.
- BARBOSA, Ana Paula Franco Paes Leme; SALERMO, Mario Sergio; NASCIMENTO, Paulo Tromboni de Souza; ALBALA, Adrian; MARANZATO, Felipe Plana; TAMOSCHUS, David. Configurations of Project management practices to enhance the performance of open innovation R&D projects. **International Journal of Project Management**, vol.39, February 2021, Pages 128-138. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786320300454> >. Acesso em: 07 de agosto de 2022.
- BRAGA, Henrique C. ALVES, Rildo M. **ASPECTOS TÉCNICOS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS DO EXTINTOR DE INCÊNDIO VEICULAR ABC DESCARTÁVEL**. IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2012. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Henrique-Braga/publication/281903938_ASPECTOS_TECNICOS_E_IMPLICACOES_AMBIENTAIS_DO_EXTINTOR_DE_INCENDIO_VEICULAR_ABC_DESCARTAVEL/links/55fda24908aeba1d9f5f10b1/ASPECTOS-TECNICOS-E-IMPLICACOES-AMBIENTAIS-DO-EXTINTOR-DE-INCENDIO-VEICULAR-ABC-DESCARTAVEL.pdf >. Acesso em:

22 de outubro de 2022.

CLELAND, D. I. **Project management: strategic design and implementation**. 2. ed. McGraw-Hill, 1994.

CORRÊA, Fábio. **Recall: a responsabilidade civil dos Fabricantes de veículos automotores**. São Paulo: Editora Dialética, 2022. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hrGFEEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=recall+ve%C3%ADculo&ots=Ues sasBBRI&sig=4Jctj1pDsd2aEmK4I5Y6yp7HvCk#v=onepage&q&f=false> >. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

CORREIA, A. Gomes et.al. **Um sistema de gestão de qualidade na construção rodoviária**. Universidade de Aveiro, 2004. Disponível em: < <http://repositorium.uminho.pt/handle/1822/11064> >. Acesso em: 24 de novembro de 2022.

DAUDT, Gabriel Marino; WILLCOX, Luiz Daniel. Indústria. In: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Org.). **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta**. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 183-208. FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009. 259 p.

DUDDECK, Fabian. **A new Topology Optimization Approach for Crashworthiness of Passenger Vehicles Based on Physically Defined Equivalent Static Loads**. I Crash Int. Crashworthiness Conference. Milano, Italy, 2012.

GEMBA GROUP. **O que é um projeto, para que serve e como planejá-lo?**. Disponível em: < <https://gembagroup.com.br/2019/08/06/o-que-e-e-para-que-serve-um-projeto/> >. Acesso em 06 de agosto de 2022.

GIALLIONARDO, W.; ZAVAGLIA, C. **Aspersão Térmica de ZrO₂-8Y₂O₃ Para Barreira Térmica**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Cuiabá, Mato Grosso do Sul, 2014.

HIRAMATSU, EIJI. **Canister. U.S. Patent n. 4.173.207**. 6 de novembro de 1979.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Gestão & Produção, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LI, Siqui; WANG, Junfeng; RONG, Jin; WEI, Wei. **A digital twin framework for product to-be-designed analysis based on operation data**. 32nd CIRP Design Conference. Elsevier, 2022.

LIPOL, Lefayet Sultan; HAQ, Jahirul. **Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations**. International Journal of Basic & Applied Sciences, 2011. Vol: 11, No:05. p74-82.

Loja Virtual Volkswagen. **Peças e Acessórios Originais Volkswagen**. 2022. Disponível em: < <https://pecas.vw.com.br/lista/?veiculo=Polo> >. Acesso em: 24 de outubro de 2022.

LUCA, Liliana. **The Study of Applying a Quality Management Tool for Solving Non-Conformities in a Automotive.** AMM 2015;809–810:1257–62. Disponível em: < <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.809-810.1257> >. Acesso em: 24 de novembro de 2022.

HELDMAN, Kim. **Project Manager’s Spotlight on Risk Management.** Alameda: Harbor Light Press. Jossey-Bass, 2005. 240p.

KERZNER, Harold. **Gestão de projetos: as melhores práticas.** 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

KIM, Hyung Chul; KLEINE, Robert de; SOO, Vie Kie; KIZILTAS, Alper; COMPSTON, Paul; DOOLAN, Matthew. **Lifecycle energy and greenhouse gas emissions implications of polyamide 12 recycling from selective laser sintering for an injection-molded automotive component.** Journal of Industrial Ecology, 2022. P 1378-1388.

KOLICH, Mike. **Using Failure Mode and Effects Analysis to design a comfortable automotive driver seat.** Applied Ergonomics. 2014. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687014000167?via%3Dihub> >. Acesso em: 07 de outubro de 2022.

KOROCOSKI, Saulo Roberto et al. **A Qualidade Percebida por Consumidores de Serviços de Reparação Automotiva: uma aplicação do Modelo Servqual.** Organizações em contexto, Vol. 12, n.23, São Bernardo do Campo, 2016.

MENEZES, Carlos Augusto Gabriel. **FMEA de processo na indústria automotiva: uma análise sobre a aplicação do Número de Prioridade de Risco (RPN).** Guaratinguetá, 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Martins. Coorientador: Prof. Dr. Ualison Rébula de Oliveira.

MILLA, Rafael Lucas. **Projeto adaptativo de um sistema de distribuição de palhão para colheitadeira modelo TC57.** 97 f. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019. Disponível em: < <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11762> >. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

MORAES, Denison Angelotti. **Revestimento cerâmico aplicado como barreira térmica em componentes automotivos.** 2018. 93 p. Dissertação (Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

NUÑEZ, David Lira. **MODELAGEM DO PROGNÓSTICO E GESTÃO DA SAÚDE DE MÁQUINAS MECÂNICAS NO CONTEXTO DE SISTEMAS CIBERFÍSICOS NA MANUFATURA.** 2017. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2870>>. Acesso em: 26 setembro de 2022.

MOURA, Cândido. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (fmea): Manual de referência.** Iqa – Instituto da Qualidade Automotiva., 2000. Disponível em: < <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades> >

Curriculares/Inovação/Textos apoio/FMEA.pdf >. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

OH, Sangeun; JUNG, Youngsu; KIM, Seongsin; LEE, Ikjin; KANG, Namwoo. **Deep Generative Design: Integration of Topology Optimization and Generative Models**. J. Mech. Des. Nov 2019, 141(11): 111405 (13 pages). Disponível em: < <https://doi.org/10.1115/1.4044229> >. Acesso em: 03 de novembro de 2022.

OICA. **2018 Production Statistics**. 2022. Disponível em: < <https://www.oica.net/category/production-statistics/2018-statistics/> >. Acesso em: 11 de outubro de 2022.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 411 p.

PARANHOS, Mayara de Melo; BACHEGA, Stella Jacyszyn; TAVARES, Dalton Matsuo. **APPLICATION OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR RISK MANAGEMENT OF A PROJECT**. Electronic Journal of Management & System, 2016. Volume 4, p. 444-454. Disponível em: < <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/download/1150/576/4868> >. Acesso em: 22 de setembro de 2022.

PATÉ-CORNELL, E. (2002). **Finding and fixing systems weaknesses: Probabilistic methods and applications of engineering risk analysis**. Risk Analysis, v.22, n.2, p. 319-334.

PEDROSA, Bruno Miguel Martins. **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial**. 98f. 2014. Trabalho Final de Mestrado – Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf> >. Acesso em: 05 de setembro de 2022.

PENTEADO, Otávio Branda. **Projeto e instalação de tanque de combustível flexível em automóveis de passeio**. 2009. 123p. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: < <http://automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/08/Penteado-Otavio-Branda.pdf> >. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Editor. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**, 6ªed. Newton Square, PA: Project Management Institute, 2017.

QATTAN, Nizar A.; AL-BAHI, Ali M.; KADA, Belkacem. **Failure Modes and Effects Analysis of T-56 Turboprop Engine Turbine**. 2021 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/RAMS48097.2021.9605754.

ROCHA, Laís de Lima; et.al. **GESTÃO DA QUALIDADE ATRAVÉS DA METODOLOGIA QRQC – ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO**. Revista Qualidade Emergente, 2015, V.6, N.1:01-12. Disponível em

< <http://dx.doi.org/10.5380/rqe.v6i1.27081> >. Acesso em: 24 de novembro de 2022.

SAE on the world. 2022. Disponível em: < <https://www.sae.org/about/> >. Acesso em 20 de agosto de 2022.

SANTOS, R. B.; OLIVEIRA, U. R.de; ROCHA, H. M. **Failure mapping for occupational safety management in the film and television industry.** International Journal of Production Economics, Amsterdam, v. 203, p. 1-12, 2018.

SHARMA, Kapil Dev; SRIVASTAVA, Shobhit. **Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review.** Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science. Volume 5 – 2018, Página nº 1-17. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Kapil-Sharma-41/publication/333209894_Failure_Mode_and_Effect_Analysis_FMEA_Implementation_A_Literature_Review/links/5ce26881a6fdccc9ddb894/Failure-Mode-and-Effect-Analysis-FMEA-Implementation-A-Literature-Review.pdf >. Acesso em: 04 de outubro de 2022.

SHENHAR, A. J.; DVIR, D. **Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation.** Boston: Harvard Business School Press, 2007.

SOCIETY OF AUTOMOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA),** 2009.


SUZUKI, Carlos Eduardo. **Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil.** 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

VASCONCELLOS, Rodrigo de Godoy. **Extensão do Período de Garantia para Veículos Populares.** 2007. 118p. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado). Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VASCONCELLOS, J. **O automóvel como é feito como funciona.** 4º Edição, Domingos Barreira, Porto, 1935, 671 p.

VIRTUOZO, Fernanda. **Integração do Método de Análise de Falhas e Defeitos de projetos (DFMEA) e do Design Science Research (DSR) para o projeto de um instrumento laparoscópico.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Engenharia Mecânica. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2020.

APÊNDICE A – FOLHA DE TRABALHO DFMEA

Sistema: Conjunto de Abastecimento de Combustível Tipo de análise: DFMEA				Subsistema: Conjunto tubo de introdução de .combustível Revisão: 2				Responsável: Reinaldo Vaz de Lima Organização: UTFPR				
N°	Elemento	Função	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C	Ações Detectivas	D E	R P	Ações Recomendadas
1	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes	Abrasão	5	Distancia Insuficiente entre tubo de enchimento de combustível e partes fixas	Prever distância mínima de 12mm	1	Verificação CAD e teste de montagem	2	10	
2	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes	Abrasão	5	Distancia insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (parte metálica) e partes móveis (suspensão, pneus, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	10	
3	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e borracha) e partes fixas lisas	Prever distância mínima de 6mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar distância dos componentes de borracha com partes da carroceria em algumas revisões
4	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubos de vapor e partes fixas lisas, considerando distância, entre fixações, menor que 250mm	Prever distância mínima de 5mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Prever fixação dos tubos de vapor com o uso de suportes para deixar o layout bem
5	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (partes plásticas e de borracha) e partes fixas cortantes	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar proximidade da mangueira com eventuais arestas cortantes
6	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e partes móveis (suspensão, pneu, corretores de frenagem, cabos de freio, etc)	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Conferir distância e posicionamento entre mangueira e partes móveis da suspensão
7	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distância insuficiente entre tubo de enchimento de combustível (Partes plásticas e borracha) e fontes de calor	Prever distância mínima de 50mm	1	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20	

Nº	Elemento	Função	Modo de falha potencial	Efeito de Falha	S E	Causa de falha potencial	Ações Preventivas	O C	Ações Detectivas	D E	R P	Ações Recomendadas
8	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Distancia insuficiente entre mangueiras e partes cortantes, considerando teste de impacto traseiro	Prever distância mínima de 25mm	5	Verificação CAD Teste de Montagem	2	100	Verificar resultados de simulação de crash test com todos os componentes
9	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Dificuldade de montagem e desmontagem durante reparação	Alto custo manutenção	5	Espaço insuficiente no percurso de montagem e desmontagem do conjunto	Prever distância mínima de 15mm em torno do conjunto em seu percurso de montagem e desmontagem	2	Verificação CAD Teste de Montagem	2	20	
10	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Folga entre cabeça do tubo de enchimento e acabamento da carroceria	Odor de Combustível	6	Desalinhamento entre cabeça do tubo de enchimento e acabamento da carroceria	Prever tolerâncias, pontos de fixação e de posição da cabeça do tubo de enchimento em conformidade com o acoplamento da carroceria	2	Verificação CAD Teste de Montagem	2	24	
11	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Vazamento de Combustível	Risco de incêndio	10	Layout dos tubos inadequados e com risco de perfuração	Prever proteção adequada aos tubos quando houver risco de perfuração por projeção de corpo estranho	5	Verificação CAD Teste de projeção de pedras	3	150	Garantir que layout do corrugado esteja completamente atrás do para barro
12	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Contato entre componentes e Vazamento de combustível	Risco de incêndio	10	Desprendimento das presilhas de retenção dos tubos	Utilizar presilhas adequadas que tenham bom sistema de travamento no seu suporte Carga de Arrancamento: 100N	2	Verificação CAD Teste de Arrancamento	3	60	
13	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Produto não conforme	Travamento da tampa durante montagem	8	Incompatibilidade entre a rosca do bocal e rosca da tampa	Adequação dos dimensionamentos e das tolerâncias da rosca do bocal em relação às tolerâncias da tampa	2	Análise CAD Controle dimensional Teste de estanqueidade	3	48	
14	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Montagem da versão incorreta do tudo de enchimento no veículo (Ex: conj. Tubo enchimento versão flex em	Impossibilidade Abastecimento	8	Ausencia de identificação visual	Reconhecimento da versão correta, fazer diferenciação através da cor das mangueiras de borracha/ marcas de identificação de rápida visualização	3	Verificação CAD Teste de montagem	1	24	
15	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Presença de corpo estranho no interior do reservatório de combustível	Contaminação do combustível	7	Ausencia de proteção no conjunto durante transporte e manuseio	Prever tampas de proteção em todos os furos ou embalagens fechadas, que impeçam a entrada de corpos estranhos	2	Check desenho 2D Teste de eficácia das tampas ou embalagens	1	14	
16	Conjunto Abastecimento de Combustível	Distribuição do combustível introduzido no bocal até o reservatório	Presença de corpo estranho no interior do reservatório de combustível	Contaminação do combustível	7	Desprendimento das tampas de proteção no conjunto durante transporte e manuseio	Carga mínima de arrancamento das tampas: 2N<Rf<15N (Conforme caderno de encargos do cliente)	2	Teste de arrancamento das tampas	1	14	