



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

GUILHERME MENDES TAVARES

Aplicação da FMEA na Manutenção de Motores Automotivos: Um Estudo de Caso

SÃO LUÍS/MA
2018

Aplicação da FMEA na Manutenção de Motores Automotivos: Um Estudo de Caso

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Lorenni Evren Matias Barros

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A) ALUNO(A) GUILHERME MENDES TAVARES, E ORIENTADA PELO(A) PROF(A). LORENNI EVREN MATIAS DA SILVA.

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS/MA
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA CENTRAL – UEMA

Tavares, Guilherme Mendes.

Aplicação da FMEA na manutenção de motores automotivos/
Guilherme Mendes Tavares. – São Luís, 2018.

55 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica,
Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Esp. Lorenni Evren Matias Barros.

1. FMEA. 2. Confiabilidade. 3. Motores.I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aplicação Da FMEA Na Manutenção de Motores Automotivos Em Uma Oficina Mecânica

Autor: Guilherme Mendes Tavares

Orientador: Lorenni Evren Matias Barros

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Lorenni Evren Matias da Silva
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Paulino Cutrim Martins
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Núbia Célia Bergê Cutrim
Universidade Estadual do Maranhão

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, de de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família pelo suporte e apoio incondicional ao longo de toda a minha formação como engenheiro mecânico e, principalmente, como pessoa.

AGRADECIMENTOS

A realização e finalização deste trabalho só puderam ocorrer graças a minha orientadora Prof. Lorenni Evren Matias Barros, que me deu a sua confiança e indicou os horizontes a serem seguidos.

Aos proprietários/gerentes das duas empresas que cederam os seus espaços para a realização do presente trabalho.

Familiares pelo suporte diário.

Meus companheiros de UEMA e de Engenharia com os quais tive a honra de compartilhar essa jornada em busca da realização do nosso sonho.

“O problema do mundo é que os tolos e fanáticos estão sempre cheios de convicção, enquanto os sábios estão sempre cheios de dúvidas”

(Bertrand Russell)

RESUMO

O presente trabalho, com base nos conceitos de confiabilidade, utilizou o método da Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) na manutenção de motores automotivos em duas oficinas mecânicas. Utilizando os princípios dessa metodologia, os serviços das manutenções prestadas pela empresa foram avaliados. Somando isso ao apoio da equipe técnica, foi possível direcionar a FMEA para uma avaliação do sistema de arrefecimento automotivo dos modelos Ford. Dessa forma, alguns dos principais componentes do sistema, tais como a válvula termostática, bomba d'água e radiador, foram avaliados nos critérios da metodologia em questão. Ao final foi possível observar que o fluido de arrefecimento é o componente com o maior Índice de Risco (R), assim como seu principal modo de falha e efeitos, necessitando de uma atenção mais especial por parte do cliente e dos técnicos. Por fim, mudanças e melhorias foram sugeridas, como por exemplo o desenvolvimento de um dispositivo que gere uma notificação visual no painel informando sobre a necessidade da troca do fluido e utilização dos indicadores MTBF e MTTR.

Palavras-Chave: FMEA; confiabilidade; motores.

ABSTRACT

The paper presents, based on the concepts of reliability, used the method of Analysis of Failure Modes and Effects (FMEA) in the maintenance of automotive motors in two mechanic workshops. Based on the principles of this methodology, the maintenance services provided by the company were evaluated. Adding to the support of the technical team, it was possible to direct the FMEA to an evaluation of the automotive cooling system of the Ford models. In this way, some of the main components of the system, such as the thermostatic valve, water pump and radiator, were evaluated in the criteria of the methodology in question. At the end it was possible to observe that the cooling fluid is the component with the highest Risk Index (R), as well as its main mode of failure and effects, requiring a special attention from the client and technicians. Finally, changes and improvements were suggested.

Keywords: FMEA; reliability; engines

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Frota circulante, 1995-2016 -----	1
Figura 1.2 – Produção, vendas e idade da frota brasileira (1995-2016) -----	2
Figura 2.1 – Diagrama de seleção dos tipos de manutenção e suas aplicações -----	6
Figura 2.2 - Etapas da MCC -----	9
Figura 2.3 - Exemplo de FMEA em uma máquina agrícola -----	14
Figura 2.4 – Ciclo Otto teórico -----	15
Figura 3.1 - Vazamento em um modelo Fiesta -----	20
Figura 3.2 – Motor de um modelo Ford Fiesta-----	20
Figura 3.3 - Esquema de circulação por termossifão feito em CorelDraw-----	22
Figura 3.4 - Esquema de resfriamento por água forçada feito em CorelDraw-----	23
Figura 3.5 - Bomba de arrefecimento, em a), e sua vista em seção, em b) -----	24
Figura 3.6 - Válvula Termostática -----	25
Figura 3.7 - Radiador -----	25
Figura 3.8 - Mangueira superior do reservatório de água-----	26
Figura 3.9 - Eletroventilador -----	27
Figura 3.10 - Fluido de arrefecimento sendo repostado -----	27
Figura 3.11 - Reservatório de água -----	28
Figura 3.12 - Cavalete d'água novo -----	28
Figura 4.1 – Grau de Severidade-----	30
Figura 4.2 – Grau de Ocorrência -----	31
Figura 4.3 – Grau de detecção -----	32
Figura 4.4 – Índice de risco -----	33
Figura 4.5 – Diagrama de causa e efeito do fluido de arrefecimento -----	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Índice e critério de severidade -----	12
Tabela 2.2 – Escala de ocorrência. -----	12
Tabela 2.3 – Escala de detecção -----	13
Tabela 3.1 - FMEA dos componentes do sistema de arrefecimento -----	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

D- Detecção

DMAIC - Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar

FMEA - Análise de Modos e Efeitos de Falhas

FTA - Análise da Árvore de Falhas

MTBF - *Mean Time Between Failures* ou Tempo Médio Entre as Falhas

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MTTR - *Mean Time To Repair* ou Tempo Médio para Reparo

O - Ocorrência

O.S. – Ordem de Serviço

PDCA - *Plan-Do-Check-Act*

PMS - Ponto morto superior

P-V – Pressão x Volume

RCA - Análise de Causa Raiz da Falha

R - Índice de Risco

S- Severidade

TPM - Manutenção Produtiva Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivo Específico.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 MANUTENÇÃO	5
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	5
2.3 CONFIABILIDADE.....	7
2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)	7
2.5 FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE	9
2.6 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA	11
2.7 MOTOR VEICULAR	15
2.8 SISTEMAS COMPLEMENTARES DO MOTOR	16
2.8.1 Sistema de alimentação de ar	16
2.8.2 Sistema de alimentação de combustível.....	17
2.8.3 Sistema de arrefecimento	17
2.8.4 Sistema de Lubrificação.....	17
2.8.5 Sistema Elétrico dos Motores	18
2.9 MANUTENÇÃO DE MOTORES.....	18
3 METODOLOGIA	19
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE ARREFECIMENTO.....	20
3.2 PROCESSOS DE ARREFECIMENTO	21
3.2.1 Resfriamento por circulação de Ar	21
3.2.2 Resfriamento por circulação de Água.....	21

3.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO AUTOMOTIVO	23
3.3.1 Bomba d'água	23
3.3.2 Válvula Termostática	24
3.3.3 Radiador	25
3.3.4 Tubulação (mangueiras e mangotes).....	26
3.3.5 Eletroventilador.....	26
3.3.6 Fluido de arrefecimento	27
3.3.7 Reservatório de água	28
3.3.8 Cavalete d'água.....	28
3.4 APLICAÇÃO DA FMEA NO SISTEMA DE ARREFECIMENTO	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 UTILIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.....	33
5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ANEXO A – Formulário utilizado com os mecânicos	40

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a frota de veículos aumenta anualmente. Estima-se que em 2016 ela tenha alcançado a faixa de 42 milhões, com crescimento de 0,7% em relação ao ano anterior. A figura 1.1 apresenta a evolução entre o ano de 1995 e 2016 (SINDIPEÇAS, 2017)

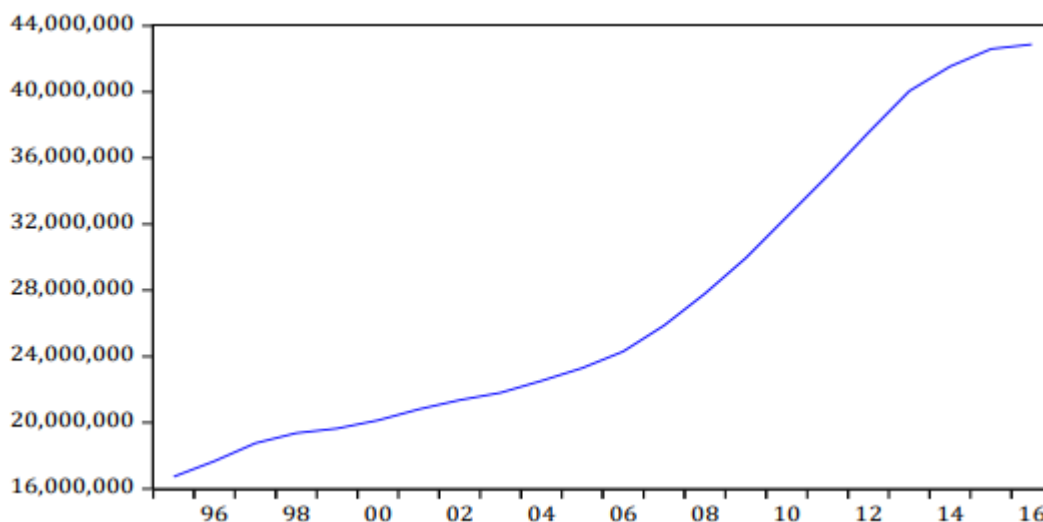


Figura 1.1 – Frota circulante, 1995-2016 (SINDIPEÇAS, 2017).

Desse montante de automóveis, a maior parte compõe-se de carros movidos a gasolina, álcool ou diesel. Em 2017, por exemplo, a venda de automóveis liderou o ranking de vendas, sendo seis vezes maior do que o segundo colocado, os veículos comerciais leves (SINDIPEÇAS, 2017).

Apesar disso, como se verifica na Figura 1.2, a idade da frota vem aumentando desde 2014, quando a venda de veículos começou a cair, certamente influenciada pela crise financeira que vem atormentando o país. Até 2016, metade da frota estava em um intervalo entre 6 e 15 anos, com uma média de 9 anos e 3 meses. Em outras palavras, os veículos passam mais tempo servindo aos consumidores. Há dois motivos que explicam este fato, um é que a compra de veículos usados está em voga, e o outro é que os usuários passam mais tempo com os seus veículos novos. De modo geral, apesar de ser algo multifatorial, isso se deve a queda do poder de compra do consumidor, fazendo com o que mesmo opte por

alternativas mais baratas (veículos usados). E à medida que os automóveis ficam mais velhos, maior a probabilidade de ocorrência de falhas.

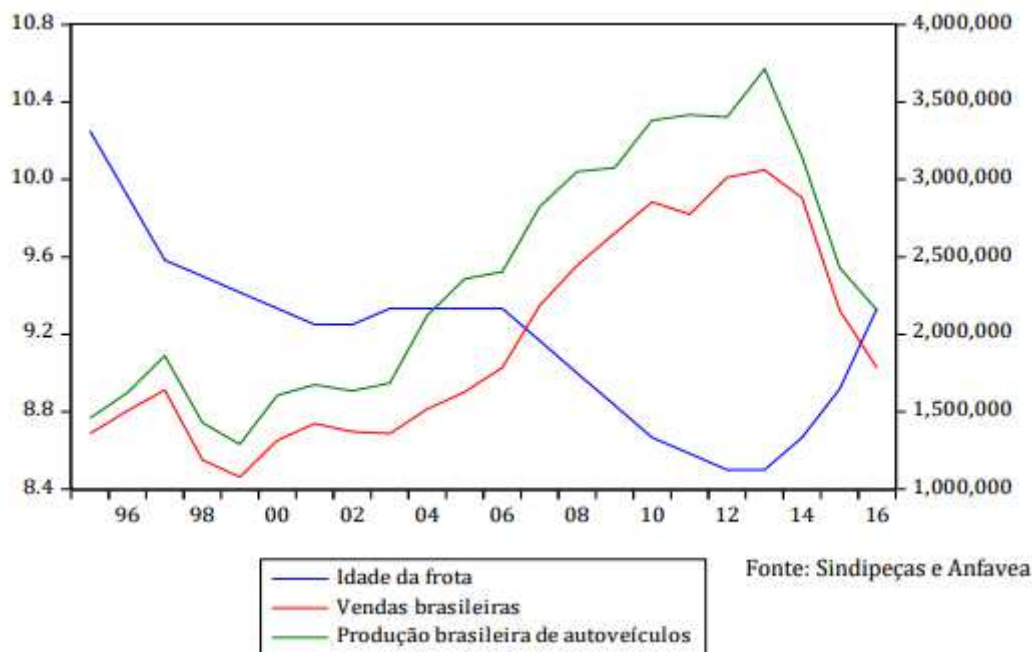


Figura 1.2 – Produção, vendas e idade da frota brasileira, 1995-2016 (SINDIPEÇAS, 2017).

Sabe-se que os veículos exigem manutenções constantes para que problemas sejam evitados, buscando garantir o seu funcionamento em plenas condições de uso. Com o passar do tempo e consequente desgaste, os cuidados com o veículo tornam-se maiores.

Assim, os profissionais e/ou empresas responsáveis pelas manutenções automotivas devem oferecer um serviço que satisfaça as necessidades dos clientes. Uma das formas desses profissionais obterem destaque é mediante a qualidade do serviço prestado, oferecendo produtos e serviços confiáveis.

A confiabilidade do produto possui, sob vários aspectos, uma influência direta na satisfação do consumidor. Dessa forma, a confiabilidade do produto e dos processos faz com que haja uma maior confiança da clientela nos profissionais, contribuindo para que seu nome fique mais forte no mercado, aumentando sua competitividade com uma reputação boa.

Diante desse mercado consumidor cada vez mais exigente, a redução da probabilidade de falhas tornou-se um ponto chave. Surge a necessidade de colocar a confiabilidade como norteadora dos produtos e dos seus respectivos sistemas.

Atualmente dispõe-se de diversas ferramentas estruturadas em confiabilidade que visam analisar as falhas dos produtos, a fim de minimizá-las e/ou sugerir mudanças que irão beneficiar o sistema.

Dessa forma, e levando em conta que, segundo IBOPE (2013), todos os gastos (aquisição, taxas, manutenção, seguro e combustível) envolvendo o automóvel particular correspondem a maior parte da renda das famílias brasileiras - ficando em primeiro lugar com o maior impacto no bolso da finança familiar -, é fundamental que todo cuidado com relação a manutenção seja prestado. Afinal, esse é um caminho de dupla satisfação: a do cliente, com uma diminuição dos seus gastos e aumento da confiabilidade do seu veículo; e a da empresa, com uma clientela cada vez maior e fiel.

O motor do veículo consiste na sua parte mais importante e complexa. Seus elementos precisam estar em perfeita harmonia e condições de trabalho. Caso contrário, sérios prejuízos financeiros poderão aparecer. O mal funcionamento de uma simples válvula termostática, por exemplo, poderá afetar todo o sistema, diminuindo o seu desempenho.

Nesse contexto, o presente trabalho irá utilizar de uma ferramenta de qualidade, a FMEA (Análise de Modos de Falhas e Efeitos) a fim de avaliar as manutenções nos motores e tentar melhorar o serviço de manutenção prestado, ao observar o(s) componente(s) mais crítico(s) utilizando os parâmetros da metodologia em questão e assim sugerir formas de evitar a(s) falha(s) apresentada(s).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do estudo é aplicar a FMEA de modo a identificar os principais modos de falhas dos componentes e, por meio da ferramenta, definir qual(is) componente(s) exigem uma manutenção diferenciada, buscando melhorar o serviço prestado, ao observar o(s) componente(s) mais crítico(s) utilizando os parâmetros da metodologia em questão e assim sugerir formas de evitar a(s) falha(s) apresentada(s).

1.1.2 Objetivo Específico

- Aplicar a FMEA em um caso real de manutenção automotiva;
- Explanar os resultados gerados;
- Identificar as causas dos problemas apresentados;
- Sugerir meios para se evitar a falha mais crítica;
- Propor um plano de manutenção para o componente com o maior índice de risco;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MANUTENÇÃO

Com o passar dos anos a atividade de manutenção vem alcançando o seu patamar merecido de importância. De mera reparadora de falhas, onde era vista principalmente como uma geradora de custos, pois paralisava a produção e afetava a qualidade dos produtos; a uma função estratégica onde a manutenção passou não só a se preocupar em fazer reparos, mas a manter a função dos equipamentos, otimizando o desempenho, reduzindo a probabilidade de parada.

A maior automação significou um número de falhas maior, o que afetava a capacidade de manter os padrões de qualidade exigidos, em um período que os padrões de exigências se tornaram cada vez mais rígidos.

Somente na década 90, com o apoio nos estudos de confiabilidade que a manutenção centrada na confiabilidade passou a ser implantada. Este tema será abordado com mais detalhes a seguir (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Conforme afirmado por Kardec e Nascif (2009), algumas práticas definem os tipos principais de manutenção, como exemplo:

a) Corretiva não planejada: atuação da manutenção após o problema apresentado, seja esta uma falha, que se trata da perda total em desempenhar a função requerida, ou um defeito, que afeta o desempenho fazendo com que ele seja menor que o esperado. Por ser algo não planejado, não há tempo para preparação do serviço, o que implica em altos custos, falhas aleatórias, perda de qualidade e insatisfação da clientela, pois também poderá haver atrasos nas entregas dos produtos, etc;

b) Corretiva planejada: correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial. Por ser planejado, acaba sendo mais barato, mais rápido e seguro que o trabalho não planejado;

c) Preventiva: procura evitar a ocorrência de falhas, ou seja, tenta prevenir esses acontecimentos, proporcionando um conhecimento prévio das ações. Porém pode ocorrer da introdução de defeitos não existentes no equipamento devido à falha humana, falha de sobressalentes, falhas dos procedimentos de manutenção, etc;

d) Preditiva: tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos por meio do acompanhamento de alguns parâmetros, o que permite a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível;

e) Detectiva: é a atuação feita em sistemas de proteção, comando e controle, com o objetivo de detectar falhas ocultas ou que não sejam perceptíveis aos operadores e/ou mantenedores. Um exemplo simples é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarmes em painéis;

f) Engenharia de Manutenção: é o suporte técnico da manutenção responsável por consolidar a rotina e implantar melhorias. Dentre as principais atribuições, tem-se: aumentar a confiabilidade e disponibilidade, aumentar a segurança, eliminar problemas crônicos, melhorar a capacitação pessoal, fazer análise de falhas e estudos, acompanhar indicadores, elaborar planos de manutenção e inspeção e fazer sua análise crítica, etc.

A figura 2.1 apresenta de forma simplificada um diagrama de seleção dos tipos de manutenção a serem aplicados:

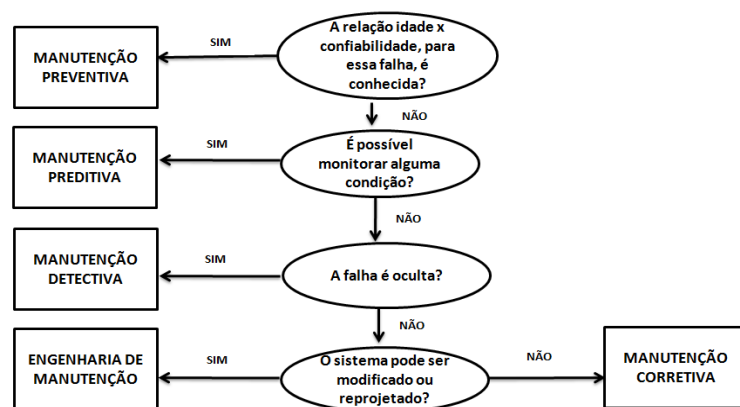


Figura 2.1 – Diagrama de seleção dos tipos de manutenção e suas aplicações (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).

Os mesmos autores prosseguem e afirmam que a Manutenção Centrada em Confiabilidade (ou MCC) permite a aplicação dos seis tipos de manutenção citados. A MCC consiste em uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa

como ele pode falhar e sugere a melhor forma de fazer manutenção para prevenir a falha ou minimizar as suas perdas.

2.3 CONFIABILIDADE

O termo confiabilidade vem sendo utilizado há pouco mais de 50 anos nos sistemas técnicos. Logo após a Primeira Guerra Mundial, o termo foi utilizado para medir o número de acidentes com aviões por horas de voo. Somente a partir da década de 60 que surgiu nos Estados Unidos a primeira associação onde se reuniam profissionais da área da confiabilidade. Desde então diversos estudos passaram a ser publicados e as aplicações da confiabilidade em diversas áreas se consolidaram, como por exemplo, nas análises de risco e segurança, em qualidade, na otimização da manutenção, etc (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Basicamente, confiabilidade equivale a uma probabilidade. Refere-se à expectativa de um determinado sistema ou componente em realizar sua respectiva função durante certo intervalo de tempo. Supõe-se que tal função precisa mostrar um desempenho adequado. Esse desempenho segue a filosofia de um modelo binário, no qual o componente pode estar em estado de funcionamento (operando de forma adequada) ou de falha. Matematicamente falando, a confiabilidade é representada por valores entre 0 e 1. Dessa forma, os axiomas clássicos da probabilidade podem ser utilizados nos cálculos relativos aos problemas que envolvem confiabilidade. (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

Segundo Souza (2008), a MCC tem por objetivo principal preservar as funções desempenhadas pelo sistema de modo a garantir que o equipamento opere garantindo a sua confiabilidade. O autor segue e afirma, baseando-se na literatura de Moss (1985) e de Rausand (1998), que por meio de uma análise das funções dos componentes no sistema estabelece-se a tarefa de manutenção mais adequada para garantir a operacionalidade do sistema, dessa forma reduzindo custos, pois o foco estará nas funções mais importantes do sistema.

Assim sendo, a MCC, ao identificar os modos de falha e determinar o quão importante esta será, preserva as funções do sistema, selecionando tarefas que poderão ser aplicadas,

prevenindo que tal falha ocorra (Smith, 1992, apud Nunes, 2001). Dessa forma, a análise de falhas consiste em um dos pontos chaves da MCC.

A abordagem clássica da MCC inclui, de acordo com Kardec e Nascif (2009):

- a) Seleção do sistema;
- b) Definição das funções e padrões de desempenho;
- c) Análise dos modos e efeitos das falhas;
- d) Histórico da manutenção e revisão da documentação técnica;
- e) Determinação das ações de manutenção – políticas, tarefas e frequência.

Dentre os diversos benefícios que a MCC traz, Kardec e Nascif (2009) citam:

- Aprimoramento do desempenho operacional, pois a MCC possibilita a aplicação do tipo mais adequado de manutenção para cada situação;
- Maior custo x benefício, já que como é determinado o tipo de manutenção com base em análises detalhadas, há uma garantia de que o investimento estará sendo bem direcionado;
- Melhoria das condições ambientais e de segurança, pois a metodologia prioriza as influências da falha sobre o meio ambiente e a segurança;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Banco de dados da manutenção, o que possibilita uma memória, disponível a todos, que minimiza os efeitos da rotatividade de pessoal e facilita a adaptação dos planos existentes em função das modificações;

Além disso, a ferramenta traz outros benefícios, tais como:

- Redução das atividades de manutenção corretiva, que é o objetivo de todas as empresas. Quando as corretivas superam, em quantidade, as preventivas significa que a empresa está com sérios problemas de planejamento e manutenção. Nesses casos há uma urgente necessidade de implantar um planejamento que se adéque as necessidades do empreendimento e tente reverter essa situação, pois os gastos provavelmente estão além do que deveriam;
- Menor custo dos programas de manutenção;

- Aumento da disponibilidade do sistema, que se trata de uma consequência do menor número de manutenções corretivas, já que estas ocorrem fora do esperado, ou seja, fora dos planejamentos.

A metodologia da MCC segue os seguintes passos apresentados na figura 2.2:

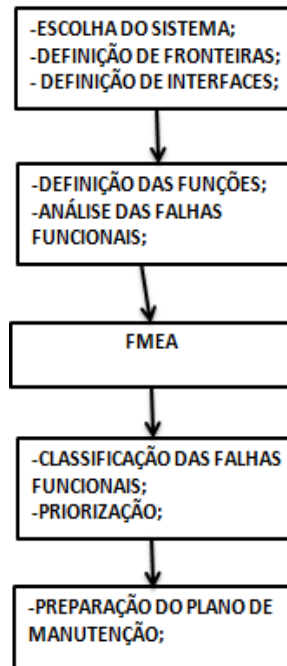


Figura 2.2 - Etapas da MCC (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009)

Os autores acrescentam também que o processo de implantação da MCC envolve a participação de diversas pessoas e alocação de tempo razoável para cumprir todas as suas etapas. Além disso, a mesma deve ser aplicada aos sistemas que apresentam um maior número de falhas e/ou as falhas implicam em maiores custos.

2.5 FERRAMENTAS DE CONFIABILIDADE

Há diversas ferramentas de confiabilidade que podem ser utilizadas para auxiliar o desenvolvimento da MCC. Com base em Schmitt (2013) e Souza (2008), dentre as principais ferramentas, pode-se citar a FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas), FTA (Análise da Árvore de Falhas), RCA (Análise de Causa Raiz da Falha) e DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar).

a) FMEA: método utilizado para definir, identificar e eliminar falhas do sistema. Consiste em dois estágios, onde no primeiro as falhas e os seus efeitos negativos são identificados e no segundo é determinado o nível de criticidade das falhas, colocando-as em ordem de prioridade. A mais crítica será priorizada e as ações de correção e/ou melhoria serão aplicadas. (SCHMITT, 2013).

b) FTA: trata-se de uma análise dedutiva detalhada que, em geral, requer um volume alto de informações sobre o sistema. Consiste na construção de um diagrama lógico, por meio de um processo dedutivo, buscando as possíveis causas de uma determinada falha, com base em um evento indesejado pré-definido. (SOUZA, 2008)

c) RCA: utilizada para prever falhas com base nas causas raiz dos eventos. Esse método é composto de uma sequência de passos que guiam o investigador do processo. Ao isolar os fatos que caracterizam a falha, busca-se determinar o porquê da ocorrência de determinado evento e dizer a sua causa, para poder especificar as ações que serão tomadas, de modo a prevenir futuras falhas. (FERNANDES, 2010, apud SCHMITT, 2013).

d) DMAIC: esse método é uma evolução do PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Central na abordagem do Six Sigma, essa ferramenta é utilizada como gestora da aplicação da metodologia. É uma abordagem dirigida por dados para se melhorar o processo em uma maneira lógica e metódica. Alia-se a outras metodologias de qualidade, como por exemplo o Diagrama de Causa e Efeito. (SCHMITT, 2013).

O presente trabalho irá utilizar a FMEA como ferramenta aliada a MCC, devido sua praticidade de aplicação e diversas vantagens apresentadas, tais como redução de eventos não previstos durante o planejamento de um processo, fornecimento de rápida referência para resolução de problemas e identificação de segurança a serem abordadas e, principalmente, a identificação dos modos de falha, permitindo identificar pontos com maior potencial para falhar, facilitando a elaboração de ações para eliminá-las ou contê-las. (SCHMITT, 2013). Além disso, conforme ressalta Schneider (2001), a FMEA é uma metodologia desenvolvida para maximizar a satisfação dos clientes, eliminando ou reduzindo possíveis problemas. Tais ferramentas poderão contar com o auxílio de outras ferramentas (como as de qualidade, aonde se pode citar o Fluxograma, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, etc.) ou técnicas (como o Brainstorming, que é largamente utilizado para gerar as mais variadas idéias). Tudo que vier para auxiliar a ferramenta ou melhorar sua aplicação e/ou entendimento pode ser utilizado.

2.6 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA

Inicialmente utilizada no setor aeronáutico, pela NASA, com um enfoque no desenvolvimento de novos produtos e processos, a FMEA passou a se difundir sendo aplicada nas mais diversas áreas, tais como na indústria automobilística, hospitais, setor nuclear e até mesmo nos processos administrativos. Essa difusão deve-ser principalmente ao fato de ser uma ferramenta proativa, já que visa eliminar ou reduzir de forma antecipada as possíveis causas de falhas

Apesar de poder ser feita de forma individual, seus resultados quando aplicada com o auxílio de equipes e com uma boa base de dados torna-se mais eficaz

Conforme afirma Schmitt (2013), o objetivo principal da FMEA é identificar o componente do sistema que necessita de uma atenção especial ao analisar a “causa potencial” pelo qual o componente e/ou equipamento poderá ter as suas funções comprometidas, apresentando o principal “Modo de falha” identificado na elaboração da FMEA. Schneider (2001), observa que para uma melhor compreensão é importante saber que falha diz respeito ao término da habilidade do item em desenvolver plenamente suas funções, enquanto modo de falha trata sobre o efeito pelo qual uma falha é observada no componente.

Como já se sabe, os componentes poderão apresentar uma infinidade de modos de falhas, pois as variáveis são inúmeras. Dessa forma, recomenda-se identificar o(s) principal(is) modo de falha ao utilizar essa ferramenta. Assim, a FMEA prioriza o nível crítico das falhas e as coloca em ordem de prioridade. A falha considerada mais crítica será a primeira do ranking e conseqüentemente será a que vai exigir ações de correção e/ou melhoria. Essa criticidade é definida por meio do auxílio de três fatores: severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D).

A severidade (S) avalia o grau de gravidade com que o sistema e/ou a vida do usuário é afetada. Em alguns casos, o grau de severidade será máximo e em outros será mínimo. A escala desse critério está apresentada na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Índice e critério de severidade (Adaptado de Schneider, 2001)

Severidade	Critério	Índice
Mínima	Efeito não será percebido pelo cliente	1
Pequena	Efeito insignificante que perturba o cliente	3
Moderada	Efeito moderado, insatisfação do cliente	5
Alta	Efeito crítico, alto grau de descontentamento	7
Muito alta	Efeito perigoso afetando a segurança	9

A ocorrência diz respeito a frequência com que o problema ocorre no sistema. Para esse critério, a tabela 2.2 pode ser utilizada. Pode variar de acordo com a oficina, região, país, etc.

Tabela 2.2 – Escala de ocorrência (Adaptado de Schneider, 2001)

Ocorrência	Critério	Índice
Remota	Raramente ocorre	1
Pequena	Ocorre com baixa frequência	3
Moderada	Ocorre moderadamente	5
Alta	Sempre ocorre	7
Muito alta	Ocorre quase que diariamente	9

A detecção define a habilidade para se detectar a falha antes que ela atinja o cliente. Este critério irá depender de alguns fatores, como a experiência do profissional que irá trabalhar com o equipamento, a dificuldade ou facilidade do acesso a peça para a realização da manutenção ou até mesmo quão aparente a falha se apresenta. Em geral, profissionais menos experientes apresentam mais dificuldades. A tabela 2.3 apresenta uma escala para detecção dos modos de falha.

Tabela 2.3 – Escala de detecção (Adaptado de Schneider, 2001)

Detecção	Critério	Índice
Muito alta	Detectado facilmente	1
Alta	Detectado relativamente fácil	3
Moderada	Detectado após uma análise	5
Baixa	Difícil de detectar	7
Remota	Provavelmente não será detectado	9

Tendo esses critérios em mãos, a FMEA utiliza o índice de Risco (R), para decidir qual o modo de falha com maior potencial. Esse índice é obtido pelo produto dos três fatores auxiliares: S, O e D. Por meio de R as falhas são priorizadas e as ações direcionadas. Dessa forma, essa ferramenta fornece ideias para testes incorporados ao projeto, reduz eventos que não são previstos durante os planejamentos, além de fornecer uma rápida resolução de problemas e identifica quais as preocupações de segurança merecem atenção. Foggliato (2009) destaca que as ações recomendadas representam o que será melhorado no projeto. Assim, elas constituem o principal resultado da FMEA, já que guiam as ações que serão tomadas. Existem diversos tipos, baseado nos mais diversos autores, para a utilização da FMEA na forma de planilha, desde as mais complexas, que detalham ao máximo, até as mais simples, que abordam de forma geral o sistema. Uma das formas mais comuns está apresentada na Figura 2.3.

Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	S	Causa Potencial	O	D	RPN
Transmitir movimento ao sistema de limpeza	Rompimento das buchas de borracha	Parada da máquina	8	Bucha subdimensionada	10	5	400
	Folga no rolamento da rótula	Aumento dos esforços em outros componentes	8	Montagem inadequada	10	5	400
	Alongamento da corrente e quebra	Parada da máquina	8	Montagem inadequada	8	5	320
	Desgaste do pino da corrente	Parada da máquina	8	Desalinhamento das engrenagens	9	4	288
	Rompimento dos anéis o'rings	Perda de desempenho	7	Desalinhamento das engrenagens	9	4	252
	Alto nível de ruído da transmissão	Insatisfação do cliente	5	Desalinhamento das engrenagens	9	4	180

Figura 2.3 - Exemplo de FMEA em uma máquina agrícola (Adaptado de Schmitt, 2013).

Conforme ressalta Schneider (2001), a FMEA deve ser atualizada a cada nova informação obtida a respeito do produto.

Vale ressaltar que há dois tipos básicos de FMEA: a de projeto e a de processo. A de projeto considera que a manufatura e a montagem irão estar dentro dos padrões, ou seja, ela não inclui modos de falha que ocorrem durante a manufatura. Ela enfatiza a melhoria contínua do projeto, considerando os limites tecnológicos dos processos implantados, que envolvem limitações referentes ao acabamento superficial, dureza, resistência, etc. No desenvolvimento dessa FMEA, diversos fatores são importantes, tais como relatórios descrevendo demandas ou reclamações de clientes, relatórios sobre o desempenho de concorrentes, documentos pertinentes ao projeto, dados da assistência técnica, etc. Já a identificação, o efeito e o controle dos modos de falha associados a manufatura e montagem são incluídos na FMEA de processo. Esta pode ser utilizada tanto na análise de processos industriais como na análise de processos administrativos (FOGGLIATO, 2009).

2.7 MOTOR VEICULAR

Com relação aos ciclos térmicos, há 2 tipos de motores que são largamente utilizados pela indústria automobilística: o motor que opera com o Ciclo Otto e Ciclo Diesel. Ambas são máquinas térmicas a combustão interna.

O Ciclo Otto representa o motor a combustão interna de ignição por centelha. A queima da mistura ar-combustível ocorre, de forma ideal, a volume constante no ponto morto superior (PMS) do cilindro do motor. Na teoria, esse ciclo pode ser representado pelo diagrama P-V apresentado na figura 2.4, onde observa-se os 4 tempos do motor, sendo o primeiro (0-1) o momento da admissão (mistura ar-combustível), o segundo (1-2) a compressão, o terceiro (2-3) a expansão causada ao inflamar-se a mistura ar-combustível e o quarto tempo (3-4) onde ocorre a expulsão instantânea do calor a volume constante. Posteriormente a válvula de expansão se abre, expulsando os gases produzidos pela combustão. Majoritariamente, a gasolina é o combustível mais utilizado nesse motor. O etano também é utilizado, porém em menor escala (SAMANIEGO, 2007).

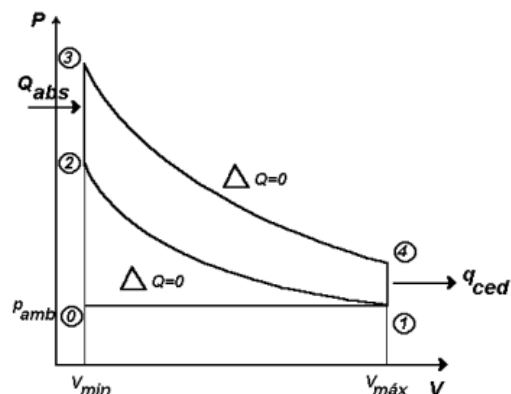


Figura 2.4 – Ciclo Otto teórico (Samaniego, 2007)

Já o motor a Ciclo Diesel (ou de ignição por compressão) admite somente ar para o interior do cilindro, onde o processo de combustão se dá por ignição instantânea, no momento em que o combustível é injetado na massa de ar, que previamente é comprimida até atingir uma temperatura superior à de ignição do combustível. A injeção do combustível ocorre ao final do tempo de compressão. Esses motores usam, de forma geral, o Diesel como combustível. O ciclo desse motor apresenta seis processos térmicos, onde no primeiro há admissão de ar, seguido da compressão do mesmo. Posteriormente ocorre a pulverização de óleo diesel na câmara e então acontece a expansão. Após isso a válvula se abre e consequente

queda de pressão. Só então os gases são expulsos com o deslocamento do êmbolo (BARBOSA, 2006).

2.8 SISTEMAS COMPLEMENTARES DO MOTOR

Para proporcionar o bom funcionamento do motor automotivo, conforme apresentado por Tillmann (2013), os veículos contam com sistemas auxiliares que garantem um trabalho eficiente e contínuo. Os principais sistemas são:

- a) Sistema de alimentação de ar;
- b) Sistema de alimentação de combustível;
- c) Sistema de arrefecimento;
- d) Sistema de lubrificação;
- e) Sistema elétrico.

2.8.1 Sistema de alimentação de ar

Esse circuito envolve a admissão do ar, filtragem, participação na combustão e exaustão ou escapamento dos gases.

O ar, ao ser aspirado, passa pelo filtro, que tem a função de conter a entrada de possíveis contaminantes, como as partículas suspensas no ar, garantindo que o ar que entra no sistema esteja o mais limpo possível, evitando os desgastes nas partes móveis do motor e, como consequência, prolongando a sua vida útil (TILLMANN, 2013).

Os sistemas mais utilizados são: sistema de aspiração natural, onde o ar é admitido pela diferença de pressão atmosférica, sistema turboalimentado, com a presença de um turbocompressor para forçar o ar a passar pelo processo de filtragem, e o turboalimentado com pós-arrefecimento, onde há a presença de um sistema para resfriar o ar antes dele ser recebido pelas câmaras de combustão (TILLMANN, 2013).

2.8.2 Sistema de alimentação de combustível

Sistema responsável por garantir o abastecimento de combustível nos motores. Em motores que trabalha com o ciclo Diesel, ele injeta a quantidade ideal e no momento certo de Diesel para que ocorra a combustão. Nos motores que operam com o ciclo Otto, a mistura de ar e combustível é introduzida na câmara de combustão (TILLMANN, 2013).

Alguns dos componentes importantes desse sistema são os filtros de combustível, que possuem uma função semelhante ao filtro de ar, a bomba injetora e o bico injetor, que, por exemplo nos sistemas a Diesel pulveriza o combustível na câmara de combustão, com o objetivo de facilitar esse processo.

2.8.3 Sistema de arrefecimento

Basicamente, é um conjunto de dispositivos eletromecânicos que controlam a temperatura dos motores de combustão interna. Ele permite que o motor fique numa faixa de temperatura que varia entre 85°C e 95°C. Para realizar esse arrefecimento, utiliza-se o ar ou a água, que entram em contato com as partes aquecidas do motor, absorvem o calor e transferem para o meio ambiente (VARELLA, 2012). Dentre os seus componentes principais, pode-se citar o radiador, bomba d'água e a válvula termostática.

2.8.4 Sistema de Lubrificação

Tem como função realizar a distribuição o óleo lubrificante entre as partes móveis do motor, a fim de diminuir o desgaste que ocorre entre as peças, conseguindo dessa forma diminuir o desgaste, o ruído e auxiliar no arrefecimento do motor. Trata-se de um circuito fechado por onde o óleo é distribuído, diminuindo. A bomba de óleo é responsável por distribuir o mesmo. Consiste em uma das manutenções mais realizadas nos veículos, onde após certa quilometragem os proprietários levam seus veículos para a troca do óleo automotivo.

2.8.5 Sistema Elétrico dos Motores

Tillmann (2013), afirma que esse sistema tem como principal elemento a bateria, que se comporta como um acumulador de energia elétrica. Além da bateria, conta também com alguns elementos, tais como o motor de partida, que é responsável por iniciar o movimento do motor; alternador transforma parte da energia produzida para atender a demanda dos dispositivos elétricos; cabos condutores, que conectam os componentes desse sistema; e o quadro de fusíveis, responsável por garantir que não haja uma carga elétrica excessiva no sistema.

2.9 MANUTENÇÃO DE MOTORES

Boa parte dos problemas apresentados nos motores automotivos está relacionado ao desgaste natural das peças, mau uso pelo proprietário, quebras de componentes, seja por acidentes ou causados pelas condições das estradas, má lubrificação dos componentes internos, normalmente por não obediência das trocas temporárias do óleo do motor, falta de manutenção nos sistemas de injeção de combustível ou não utilização de aditivos, ou até mesmo a utilização de combustíveis adulterados, algo que traz diversos danos para os motores. Além disso, utilizar peças do mercado paralelo, optando a utilização destas por terem valores mais baratos comparados às originais, pode ser algo que trará problemas. Peças originais seguem padrões rígidos de qualidade feitos por profissionais com extrema capacidade técnica e certificação.

A realização das manutenções periódicas e inspeções tratam-se de uma necessidade para manter o veículo em dia. Simples verificações dos níveis dos fluidos (óleo, fluido refrigerante, etc.) do motor já possuem um valor grande, pois falhas no sistema eletrônico do carro podem ocorrer e o painel poderá não indicar a existência de algum problema.

3 METODOLOGIA

Para realização do estudo contou-se com o apoio duas oficinas mecânicas, que terão seus nomes mantidos sob sigilo, onde em uma fora disponibilizado uma pequena parte do histórico das manutenções e apoio dos técnicos e na outra fora permitido realizar entrevistas com alguns dos mecânicos da empresa.

Porém, na primeira empresa, devido as O.S (ordens de serviços) não possuírem uma organização muito adequada, a sua interpretação foi afetada de modo que boa parte das informações técnicas a respeito das manutenções originou-se por meio de conversas, entrevistas com mecânicos e aplicação de um questionário – em Apêndice A e Apêndice B está apresentado o modelo do questionário e os índices, respectivamente. Já na segunda empresa foi permitido realizar entrevistas com dois profissionais mecânicos, não podendo ter o acesso as ordens de serviço.

Com base nas informações passadas pela primeira empresa, aonde foi iniciado o estudo, baseada em conversações, uma das marcas com modelos mais recorrentes para realização de reparos é a Ford – principalmente os modelos mais antigos do Fiesta - da multinacional estadunidense Ford Motor Company. Foi ressaltado que o principal defeito apresentado pelos veículos encontrava-se no sistema de arrefecimento do motor, onde os componentes com mais danos eram o cavalo d'água (ou cavalete), mangotes e mangueiras e radiador, não necessariamente nessa ordem.

Posteriormente, observando ainda uma necessidade de coletar mais informações para realização do estudo, a fim de consolidar seus resultados, continuou-se o trabalho na segunda empresa. Nesta, as pesquisas dirigiram-se diretamente para o sistema de arrefecimento. É importante ressaltar que nesta os profissionais possuíam um grau mais elevado de formação técnica.

Assim, os tópicos que seguem irão abordar de forma breve algumas das principais características desses componentes e de alguns dos principais integrantes do sistema de arrefecimento.

Como exemplo desse problema, na figura 3.1 nota-se um vazamento em um modelo Fiesta, verificado em uma das visitas a empresa. No caso, o vazamento estava ocorrendo devido a tampa do radiador que estava danificada. A figura 3.2 apresenta um modelo padrão do motor desse veículo



Figura 3.1 - Vazamento em um modelo Fiesta



Figura 3.2 – Motor de um modelo Ford Fiesta.

3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE ARREFECIMENTO

De acordo com Brunetti (2012), o sistema de arrefecimento é responsável por manter a temperatura do motor dentro de uma faixa adequada para que este realize suas funções sem prejudicar os seus componentes de acordo com as características dos materiais constituintes. Quando o motor opera em uma temperatura acima da máxima ideal, o mesmo estará sujeito a deformações, corrosão, desgaste, degradação do óleo e engripamento.

Assim, esse sistema constitui-se de um conjunto de dispositivos eletromecânicos e hidráulicos que tem como função controlar a temperatura dos motores de combustão interna.

Com base em experimentos, nota-se que entre 20% e 35% do calor gerado nos motores arrefecidos é dissipado pelo fluido de arrefecimento, seja ele ar ou água – sendo que esse último consegue dissipar mais em comparação ao primeiro. Isso ocorre quando o fluido entra em contato com as partes aquecidas do motor.

3.2 PROCESSOS DE ARREFECIMENTO

Os principais meios arrefecedores são a água e o ar. No caso do ar, há uma circulação através das aletas existentes, enquanto que a água circula pelos meios existentes no interior do motor.

3.2.1 Resfriamento por circulação de Ar

Os sistemas resfriados a ar são projetos de menor complexidade, o que acaba por exigir uma manutenção mais simples. Com a utilização desse fluido, não há necessidade de reservatórios e tubulações fechadas. Além disso, o ar está disponível em abundância e também não é corrosivo, nem deixa incrustações. E mesmo em condições mais severas de funcionamento, o ar não congela e não evapora. Entretanto, devido sua baixa densidade, é necessário um volume muito maior de ar do que de água para retirar calor do motor. Também possui baixo calor específico, ou seja, possui baixa capacidade de transferir calor entre o sistema e sua vizinhança. Vale ressaltar também que a temperatura não é uniforme nesses sistemas, o que favorece a formação de locais com temperatura acima da ideal. A necessidade de limpeza regular das aletas também conta como um ponto negativo em sistemas que utilizam o ar.

3.2.2 Resfriamento por circulação de Água

A utilização de água para o arrefecimento do sistema é o mais comum hoje em dia, pois há um controle mais eficaz da temperatura dos componentes, mantendo a temperatura mais uniforme, mesmo daqueles componentes que são mais solicitados termicamente. Isso acaba

por proporcionar um melhor funcionamento do motor. Outra vantagem é que o motor opera com menos barulho, já que a água age como um “amortecedor” de ruídos.

Os principais processos para retirar calor dos motores com a utilização da água são:

a) Resfriamento por circulação de água – Termossifão: não há uma bomba para forçar a circulação e o fluxo acaba por ocorrer pelo gradiente de temperatura. Sua principal vantagem é a simplicidade. Porém apresenta desvantagens, tais como exigência de tubulações e camisas mais amplas; e se a água estiver abaixo do nível normal, a formação de bolsões será facilitada e conseqüentemente acarretará em um superaquecimento. A figura 3.3 apresenta um esquema de circulação por termossifão.

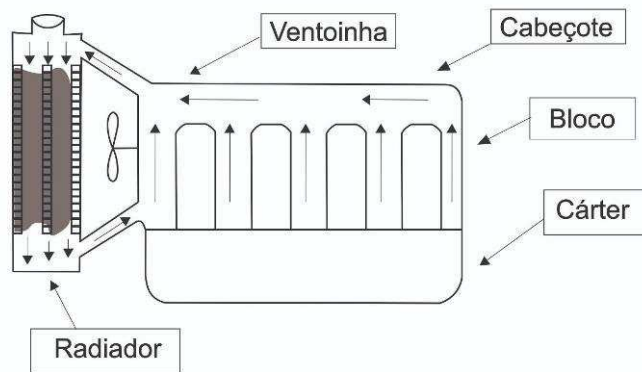


Figura 3.3 – Esquema de Circulação por termossifão feito em CorelDraw

b) Resfriamento por circulação de água – Forçada: esse sistema utiliza uma bomba centrífuga para forçar a circulação de água, ou seja, a água encontra-se sob pressão, o que permite reduzir a quantidade de água no meio e faz com que ela circule com maior velocidade, facilitando a manutenção da temperatura ideal. Esse sistema apareceu como grande substituto para o de termossifão, pois acabou por facilitar o controle da temperatura e permitiu diminuir as dimensões do radiador e as diferenças de temperatura no sistema. Basicamente, a bomba, que é acionada pelo motor, pressuriza o sistema e garante a circulação da água pelo motor. A passagem do fluido é controlada pela válvula termostática, garantindo uma maior constância na temperatura. Além da válvula termostática, esse sistema apresenta outros componentes, como exemplo temos o eletroventilador e o reservatório de água. Na figura 3.4 tem-se um sistema de resfriamento por circulação de água forçada.

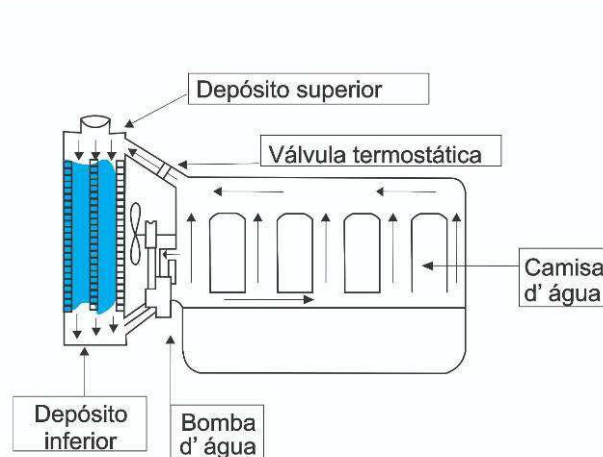


Figura 3.4 – Esquema de resfriamento por água forçada feito em CorelDraw

3.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO AUTOMOTIVO

Nesse subtópico será abordado de forma breve alguns componentes que possuem relação direta ou indireta com o sistema de arrefecimento. Tais componentes foram selecionados com base na sua importância para o sistema e/ou na frequência com que apareciam nas O.S

3.3.1 Bomba d'água

Como é de praxe, a bomba d'água é responsável por promover a circulação da água nos motores. Em geral, o acionamento é feito por correia ou engrenagem. Sua eficiência depende das perdas internas que acabam aumentando o trabalho de bombeamento. Tais perdas podem ser causadas por atritos nos rolamentos e na caixa de enchimento; atrito do impulsor, que é a potência necessária para superar o torque de atrito do impulsor; vazamentos e perdas hidráulicas. A figura 3.5 mostra uma típica bomba de um sistema de arrefecimento e sua vista em seção. (CAMPOS *et al.*, 2010)

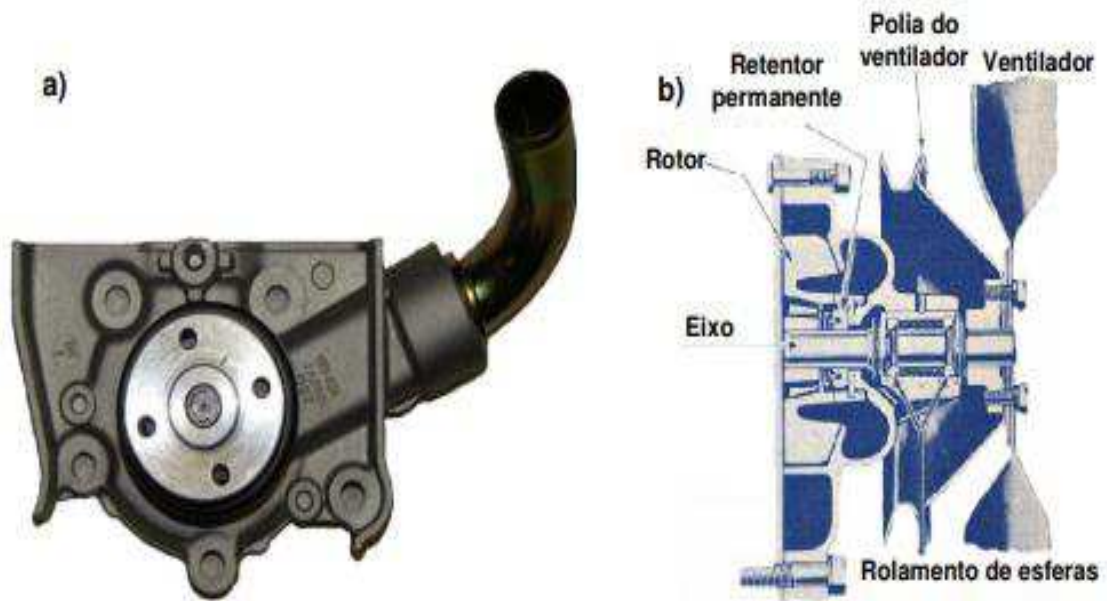


Figura 3.5 - Bomba de arrefecimento, em a), e sua vista em seção, em b) (Campos *et AL*, 2010).

3.3.2 Válvula Termostática

Dispositivo responsável por controlar a temperatura na qual o motor vai funcionar. Quando a temperatura do fluido é baixa, por exemplo, a válvula termostática (ou termostato) bloqueia a passagem até o radiador, o que faz com que o fluido circule somente no interior do motor. De modo geral, há 2 tipos de termostatos usados nos sistemas veiculares: aneroide e hidrostático. No aneroide, quando o fluido atinge a temperatura de evaporação, o líquido no bulbo evapora e fecha a válvula. Já no hidrostático o controle da válvula é dado por um elemento carregado com uma substância de elevado coeficiente de expansão térmica (CAMPOS *et al*, 2010). De forma extremamente equivocada, muitos optam pela retirada da válvula julgando que a mesma não seria tão útil – um engano total. O módulo do controle da temperatura dos veículos atuais trabalha para que o motor trabalhe dentro da faixa ideal de temperatura, utilizando diversos procedimentos eletrônicos e a válvula é um integrante fundamental deste processo. Geralmente é instalada entre o motor e o radiador. Afigura 3.6 mostra uma válvula termostática comumente usada



Figura 3.6 - Válvula Termostática

3.3.3 Radiador

Tem como propósito transferir calor rejeitado do motor para o ar ambiente, garantindo o resfriamento mesmo em condições fora do normal de temperatura ambiente. Isso é realizado por meio da troca de calor entre o fluido de arrefecimento e o ar proveniente do meio externo externo e/ou da ventoinha. É instalado na parte frontal do veículo. Hoje, os radiadores são compostos por uma matriz de tubos e aletas, basicamente. Costuma também ser aproveitado como item de design do veículo (BRUNETTI, 2012). Na figura 3.7 temos uma imagem de um radiador.



Figura 3.7 - Radiador

3.3.4 Tubulação (mangueiras e mangotes)

Responsáveis por conectar os componentes do sistema de arrefecimento e permitir o escoamento do fluido pelo motor. São projetadas de modo a suportar toda a pressão dentro do sistema, estando sujeitas ao desgaste com o tempo e, eventualmente, sendo necessário realizar trocas por mangueiras novas. Tem-se abaixo, na figura 3.8, a imagem da mangueira superior que dá acesso ao reservatório de água.

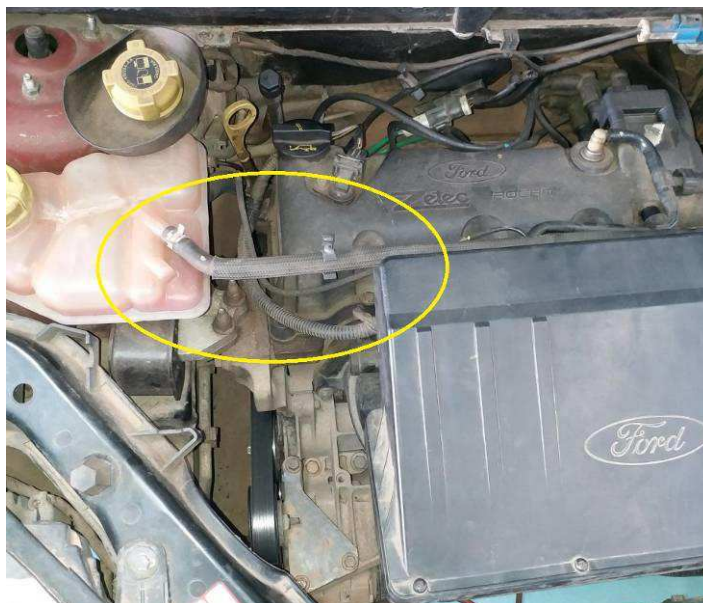


Figura 3.8 - Mangueira superior do reservatório de água

3.3.5 Eletroventilador

Ao ser acionado, o eletroventilador gera um fluxo de ar forçado contra o radiador, toda vez que o fluxo de ar frontal resultante do movimento do veículo não for suficiente para retirar calor da colmeia do radiador. Em geral, isso ocorre quando o carro trafega a uma baixa velocidade, usando o motor sob condições limites ou quando o sistema de ar condicionado é ligado (OFICINA BRASIL, 2011). Para a utilização do eletroventilador, a ECU (*Engine Control Unit*, responsável por receber os sinais oriundos dos sensores, realiza o processamentos dos mesmos e envia para os atuadores), comumente chamado de módulo de injeção, leva em consideração as informações obtidas sobre a velocidade e a temperatura do veículo. A figura 3.9 mostra um eletroventilador.



Figura 3.9 - Eletroventilador

3.3.6 Fluido de arrefecimento

De acordo com Campos *et al* (2010), dentre as características desejáveis para os fluidos de arrefecimento, pode-se citar a elevada condutividade térmica e calor específico, para realizar um aumento na troca de calor e na capacidade de transportar energia térmica; possuir baixa viscosidade, para diminuir o trabalho do bombeamento; ter um baixo nível de corrosão; reter a menor quantidade possível de depósitos; dar uma boa lubrificação ao sistema e apresentar uma boa capacidade anticongelante. Para tentar driblar a baixa temperatura de ebulição e a geração de ferrugem, utilizam-se hoje soluções de água e etileno glicol. Na figura 3.10 temos a utilização de uma dessas soluções em um veículo.



Figura 3.10 - Fluido de arrefecimento sendo repost

3.3.7 Reservatório de água

Dispõe de um espaço interno para expansão do ar sob alta pressão do sistema, que ocorre durante o aquecimento do motor, por isso também conhecido como reservatório de expansão. A tampa desse reservatório possui uma grande importância, já que quando a temperatura do motor estiver elevada, elevando também a pressão interna, a tampa alivia a pressão por meio de uma válvula presente em sua parte superior. Sua inspeção é realizada quando o motor está a frio. A figura 3.11 mostra um típico reservatório de água e sua tampa.



Figura 3.11 - Reservatório de água

3.3.8 Cavalete d'água

Sendo um dos componentes mais presentes nas O.S da empresa, o cavalete d'água é nada mais nada menos do que a carcaça onde fica alojada a válvula termostática. Quando desgastado, o cavalete (ou cavalo d'água, como também é chamado) apresenta uma aparência de objeto derretido ou trincado. A figura 3.12 apresenta um cavalete d'água.



Figura 3.12 - Cavalete d'água novo

3.4 APLICAÇÃO DA FMEA NO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Com base em entrevistas pessoais feitas com mecânicos das empresas, os critérios de Severidade, Ocorrência e Detecção foram atribuídos aos componentes analisados, usando algumas idéias básicas da ferramenta brainstorming para se chegar a um consenso.

A ferramenta foi aplicada diretamente ao sistema de arrefecimento e aos seus principais componentes presentes nos serviços das empresas.

A partir dos resultados obtidos serão observados os componentes mais importantes, de acordo com os parâmetros utilizados pela ferramenta. Não necessariamente na ordem do maior índice de risco, os componentes, juntamente com os seus índices e modo de falha, estão expostos na Tabela 3.1

Tabela 3.1 - FMEA dos componentes analisados do sistema de arrefecimento

Componente	Modo de Falha	S	O	D	R
Bomba d'água	Vazamento	9	5	3	135
Válvula Termostática	Travamento	9	3	3	81
Radiador	Vazamento	9	5	5	225
Tubulação (mangueiras e mangotes)	Vazamento	9	9	1	81
Eletro ventilador	Resistência queimada	9	5	5	225
Fluido de arrefecimento	Quantidade de fluido abaixo do ideal	9	9	5	405
Reservatório de água	Trincado	9	7	1	63

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a FMEA dos componentes analisados do sistema de arrefecimento, apresentam-se, respectivamente, os graus de severidade, ocorrência, detecção e o índice de risco nas figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

No gráfico da Figura 4.1 nota-se que o índice máximo para o critério de Severidade encontra-se em todos os componentes. Foi tomado a decisão de utilizar o grau 9 pois havendo falhas o veículo irá superaquecer e, em casos mais extremos, pode vir até mesmo a causar um incêndio, ameaçando a vida dos usuários. Assim, é mais adequado utilizar fator 9.

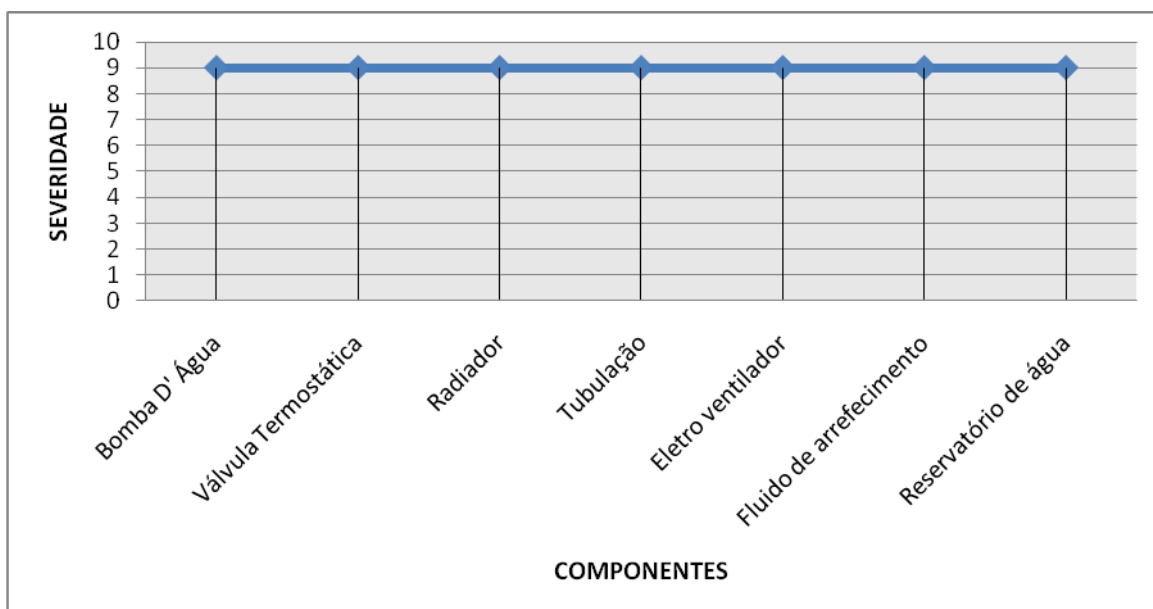


Figura 4.1 – Grau de Severidade

O grau de ocorrência de falhas é um dos fatores que poderá apresentar mais variações nos diferentes locais, empresas, regiões, etc, pois muitos fatores influenciam para que as falhas apareçam. Como exemplo, um sistema pode se comportar de uma forma em uma região com a temperatura abaixo de zero e de outra maneira em alguma cidade que possua temperaturas bastante elevadas. O mesmo pode acontecer com relação as condições das estradas, cuidado do proprietário para com o seu automóvel, etc.

Nas oficinas aonde esse estudo foi feito, mais veiculos chegam com problemas nas tubulações (mangueiras e mangotes) e no fluido de arrefecimento, como podemos ver na Figura 4.2. A bomba d'água, radiador e o eletroventilador possuem o mesmo índice,

ocorrendo de forma moderada. Na sequência o reservatório de água possui uma frequência alta, porém não chega ao nível dos dois primeiros componentes com maior número. A menor frequência de falhas, dentre os componentes analisados, está na válvula termostática

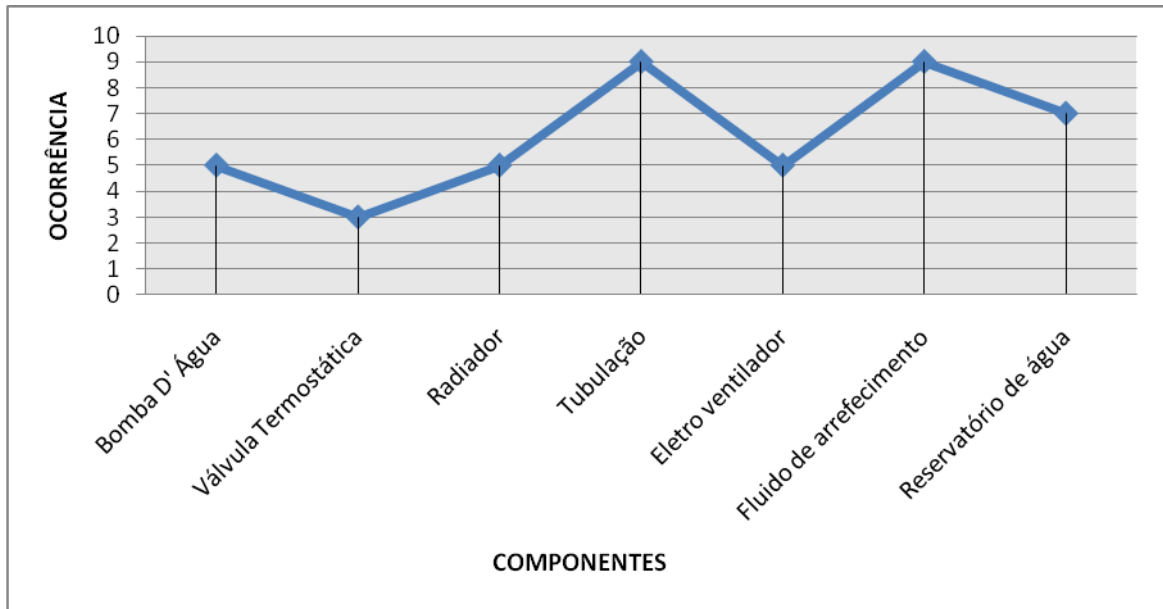


Figura 4.2 – Grau de Ocorrência

A detecção de qual componente está apresentando a falha é um outro fator que pode variar bastante. Os principais motivos que influenciam este fato são: conhecimento técnico e experiência. Na primeira oficina, aonde foi possível ter contato com um maior número de profissionais, uma certa parte da equipe possui pouco tempo de experiência. Já na segunda oficina, que disponibilizou dois profissionais para o auxílio da pesquisa, a experiência e o conhecimento técnico eram maiores.

Os resultados obtidos no que diz respeito a detecção estão apresentados na Figura 4.3. O radiador, eletroventilador e o fluido de arrefecimento possuem o maior grau de detecção (a falha só será identificada após uma certa análise do sistema) dentre os componentes, mesmo assim nenhum foi julgado com a máxima dificuldade (índice 9 – provavelmente não será detectado). A tubulação e o reservatório de água são os mais fáceis. A bomba d'água e a válvula termostática apresentam índice 3 (relativamente fácil). Já o reservatório de água possui o menor índice. Isso ocorre pois o reservatório é um dos componentes de mais fácil acesso no motor, facilitando a detecção visual de alguma rachadura no mesmo.

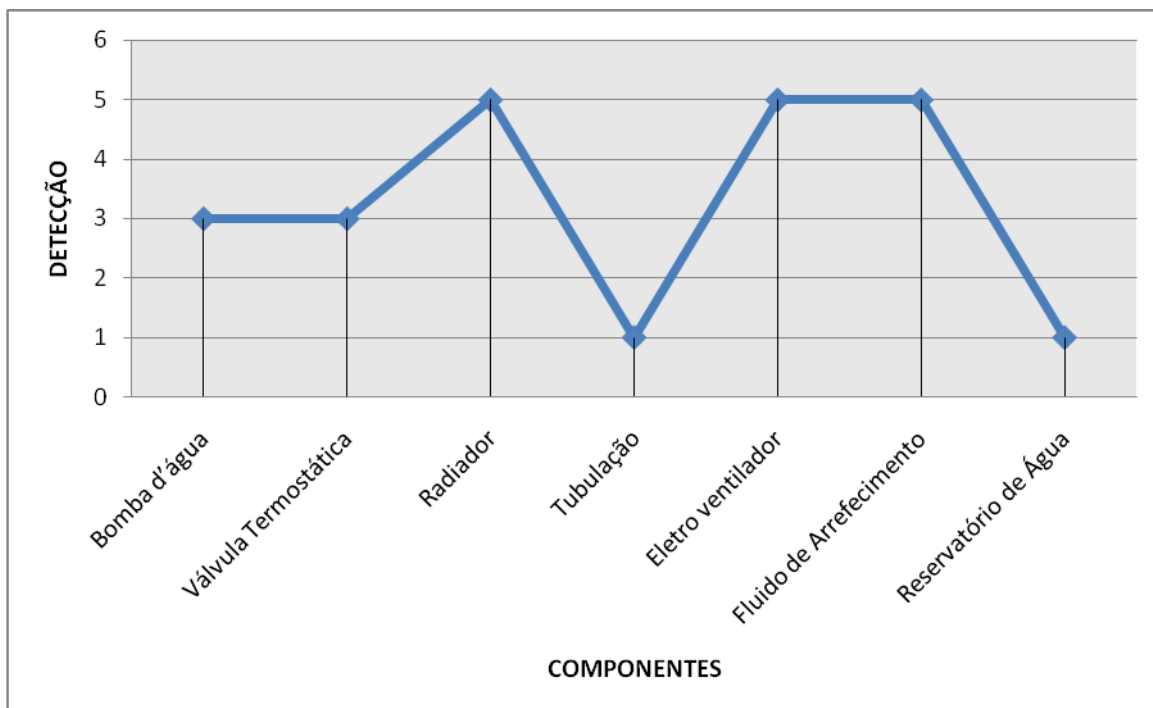


Figura 4.3 – Grau de detecção

O Índice de Risco (R), que trata, como foi visto anteriormente, do produto entre a severidade, ocorrência e detecção. O componente que apresenta o maior valor será o componente com o maior Índice de Risco.

Conforme visualizamos na Figura 4.4 o fluido de arrefecimento possui o maior valor dentre os componentes em questão. Dessa forma, concluímos que essa parte integrante do sistema é a que precisa de uma maior atenção no que tange as manutenções veiculares.

Um fato interessante no resultado da aplicação da FMEA é a bomba d'água. Baseando-se no senso comum poderíamos julgar que a bomba, por ser o “coração” do sistema, seria o elemento com uma necessidade atenção especial durante as manutenções, porém isso não foi observado com este caso. Isso ocorreu devido a frequência moderada com que os veículos vão até as oficinas em questão apresentando algum tipo de falha nesse componente e um grau de detecção julgado como relativamente fácil pelos mecânicos.

O reservatório de água aparece em último lugar, isso devido as falhas serem identificadas facilmente, o que fez seu valor ficar baixo se comparado aos outros. A tubulação aparece empatada com a válvula termostática, ambos com 81 de índice.

O radiador, assim como o eletroventilador, surge em segundo lugar com 225 de índice, perdendo apenas para o fluido de arrefecimento.

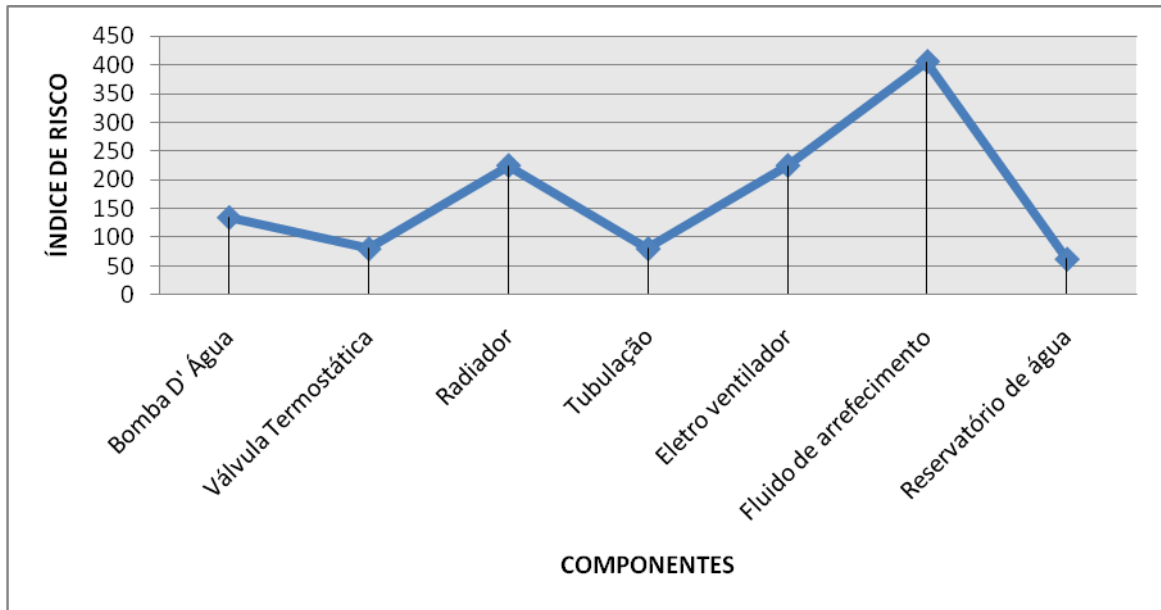


Figura 4.4 – Índice de Risco

Vale lembrar que com um aumento no foco das manutenções/verificações relacionadas ao fluido de arrefecimento, será possível minimizar a ocorrência de problemas relacionados ao mesmo, diminuindo a ocorrência de falhas. Isso irá ajudar a prevenir futuros problemas, diminuindo os gastos, já que os custos para prevenir são muito menores se comparados aos custos para correção dos problemas, que em alguns casos poderá afetar o motor de forma irreversível.

Nessas ocasiões mais graves é necessário realizar a retífica do motor, que pode ocorrer devido ao superaquecimento do sistema, fazendo com que haja um desgaste considerável das peças, já que as mesmas estarão sujeitas a esforços maiores do que os usuais. O processo da retífica trata-se basicamente da usinagem dos elementos afetados. Por ser um procedimento complexo possui o valor bastante elevado. Dessa forma, a manutenção preventiva irá evitar possíveis gastos

4.1 UTILIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Como dito anteriormente, o Diagrama de Causa e Efeito será aplicado a fim de obtermos as prováveis causas para a ocorrência do problema. No caso em questão, causas

envolvidas nos problemas notados pelo fluido de arrefecimento. O diagrama está apresentado na figura 4.5.

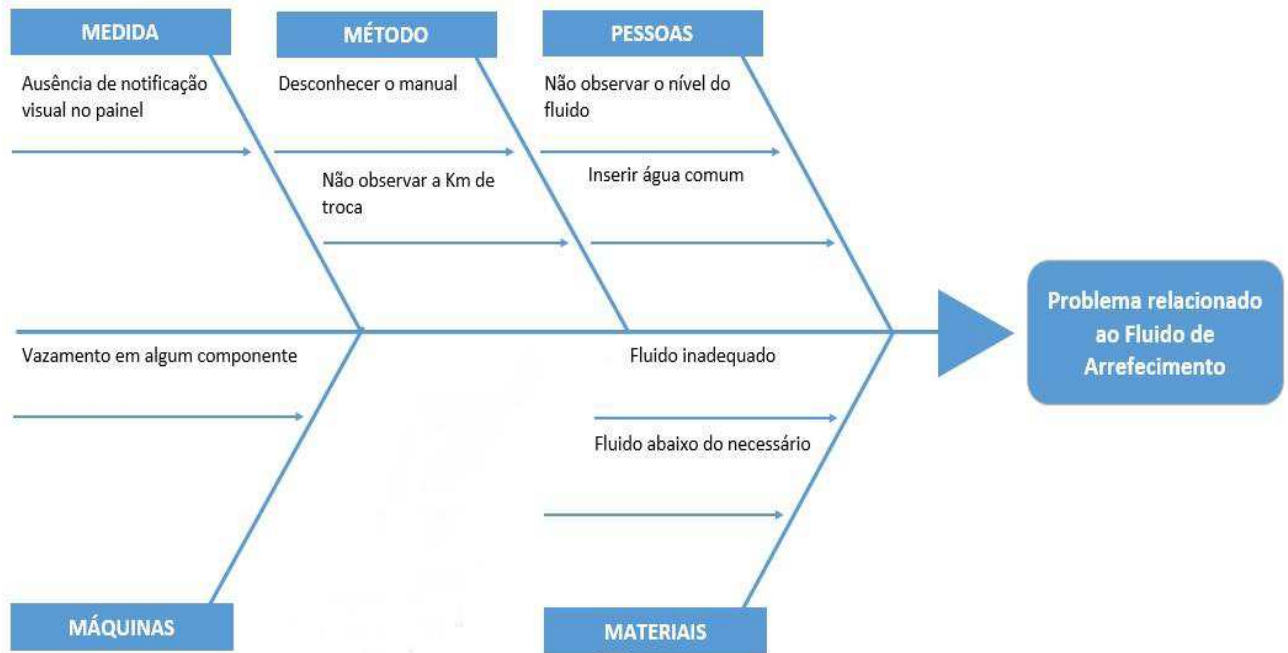


Figura 4.5 – Diagrama de Causa e Efeito do Fluido de Arrefecimento

A ausência de notificação visual no painel frontal trata-se de algo simples que poderia auxiliar o motorista a realizar a troca temporária do fluido, porém é algo inexistente na maioria dos carros. Uma certa parte dos proprietários de veículos não têm conhecimento ou simplesmente esquecem de substituir o fluido. Assim, um simples dispositivo que pudesse gerar uma notificação no painel, informando sobre o nível do fluido, algo semelhante ao que já existe para o óleo do motor, iria ser de grande valia para os motoristas, principalmente para os mais inexperientes.

Muitas das vezes ocorrem vazamentos, seja nas mangueiras, mangotes ou em outros componentes. Isso faz com que o sistema não tenha o seu desempenho máximo, ainda mais quando se trata de pequenos vazamentos, difíceis de serem visualizados. Um fator que aumenta a dificuldade na visualização dos pequenos vazamentos é o fato do carro, ao estar ligado, possuir uma temperatura elevada, fazendo com que o fluido evapore de forma sutil, dificultando a identificação do local. Este fato só será percebido ao notar-se que o nível do reservatório irá diminuir e quando o motor estiver a uma temperatura acima do normal.

Outra causa notada foi o desconhecimento do manual do próprio veículo, fato que acompanha parcela significativa dos proprietários. O manual possui informações valiosas acerca das manutenções que se seguidas poderão evitar futuros problemas. Além disso, o mesmo apresenta detalhes sobre as notificações que existem no painel, muitas das vezes esses avisos referem-se a estados críticos do veículo, como é o caso da notificação do baixo nível de óleo do motor, que se persistir poderá causar danos irreversíveis.

A quilometragem ou validade do fluido é um ponto importante a ser observado. Muitas das vezes os proprietários verificam apenas a quilometragem para troca de óleo do motor, ignorando a do fluido de arrefecimento, deixa esta somente para quando o carro já está com alguma falha maior, o que é um erro e poderá acabar sendo bastante custoso. Em geral estipula-se um tempo médio de 12 meses ou 30 mil quilômetros para realização da troca, porém isso depende principalmente de fatores como as recomendações do fabricante e os aditivos utilizados.

A não verificação do nível de fluido no radiador é algo bastante comum entre os motoristas. Como já foi dito anteriormente, vazamentos podem afetar o prazo estipulado para a troca do mesmo. É importante criar o hábito de observar o nível dentro de intervalos regulares.

Um erro corriqueiro é a inserção de água comum (de torneira) no radiador. O fluido refrigerante trabalha mediante uma grande variação de temperatura e pressão. Devido a esse motivo o mesmo possui características que o permitam ficar em harmonia com o sistema, realizando sua função e não trazendo prejuízos para o motor. O mesmo não ocorre com a água comum. Esta possui em sua formulação a existência de minérios, sais e flúor, o que traz danos para as partes internas do sistema, como por exemplo a corrosão, também contribui para o ressecamento das borrachas e plásticos. Além disso, a água comum entra em ebulição a temperatura de 100°. Sabe-se que em funcionamento os carros chegam a temperaturas acima de 90°, podendo chegar ou até mesmo ultrapassar os 100°. Tal faixa de temperatura apresenta um elevado grau de risco, pois a água fervendo iria trazer danos graves para o motor, podendo queimar diversos componentes; e ao entrar em ebulição iria diminuir rapidamente o nível do líquido, exigindo uma reposição constante. Já em regiões de baixas temperaturas a água iria congelar. Devido esses motivos que se utilizam fluidos específicos para aplicação no sistema de arrefecimento. Tais fluidos possuem aditivos que mudam as propriedades da água, elevando sua temperatura de ebulição e diminuindo a de congelamento. Os aditivos também

contribuem com o motor com os antioxidantes, conservantes e alguns até mesmo substâncias que promovem uma lubrificação para ajudar no bom funcionamento da bomba d'água. A utilização de água comum só é recomendada em casos de emergência, quando não se tem outra opção. Mesmo assim, na primeira oportunidade deve-se realizar a troca da mesma, obedecendo todos os procedimentos de segurança. O mercado disponibiliza 3 tipos de fluidos para o radiador: fluidos clássicos, orgânicos e híbridos. Dentre as mudanças entre esses tipos de fluidos é possível citar algumas simples tais como a quilometragem para troca, cor e risco (ou não) de poluição ao meio ambiente. No que tange as proporções da mistura, essas precisam seguir as normas brasileiras regidas pela ABNT NBR 13705 e ABNT NBR 14261.

Diante de uma diversidade de fluidos no mercado alguns consumidores acabam por colocar um fluido que não indicado para o modelo. O fluido ideal para cada veículo é recomendado no manual do mesmo. Além dos problemas comentados anteriormente sobre a inserção de um líquido diferente do ideal, outro fator agrava esse problema. Cada motor, de acordo com o modelo e fabricante, possui sua faixa de temperatura de trabalho, o que faz com que o fluido refrigerante seja feito para trabalhar na mesma temperatura. Havendo uma incompatibilidade das temperaturas, o sistema estará funcionando fora das condições ideais.

Assim, a produção excessiva de calor é a maior razão para se manter o sistema de arrefecimento dentro de níveis aceitáveis para o funcionamento do motor. Sabe-se que as manutenções veiculares concentram-se em filtragem de ar, lubrificante e combustível. A manutenção periódica desse sistema é geralmente considerada de menor relevância, o que pode ser considerado um erro muito grave. Pesquisas demonstram que cerca de 40% de todos os problemas do motor em motores Diesel para trabalho pesado têm relação direta ou indireta com a manutenção inadequada do sistema de arrefecimento. Assim, a manutenção regular desse sistema é fundamental para garantir o bom funcionamento do motor e diminuir possíveis gastos.

Todos os componentes de um sistema possuem sua devida importância para o bom funcionamento do mesmo, porém alguns possuem uma maior relevância para assegurar um desempenho. Realizar inspeções periódicas e, sempre que possível, no caso de frotas veiculares, utilizar-se de ferramentas de qualidade que trabalham para a otimização das manutenções e do sistema, será sempre bem vindo.

5 CONCLUSÃO

Qualquer tipo de máquina está sujeita a diversas falhas. Os automóveis não fogem essa regra, principalmente quando as devidas inspeções e manutenções não são realizadas. Sendo o motor o coração do carro, este sempre será um componente com o qual todo cuidado é pouco, pois pode gerar custos altos e, em casos mais extremos, ameaçar a vida dos usuários. Para combater e/ou evitar esse tipo de falha, dispõe-se de diversas ferramentas que possibilitam uma análise mais profunda desses mecanismos. Dentre essas ferramentas a FMEA apresenta-se como uma metodologia simples, mas eficaz.

O presente trabalho buscou se aliar a FMEA, apresentando o seu funcionamento na prática, para mostrar os principais modos de falha apresentados e o componente com o maior índice de risco na análise do sistema de arrefecimento do motor. Também se usou de gráficos para melhor compreensão dos resultados da ferramenta. Foi possível identificar os principais modos de falha dos problemas apresentados. Além disso, aplicou-se o Diagrama de Ishikawa para aprofundar-se no problema com o maior índice de risco e sugerir meios para se evitar a ocorrência de problemas. Para propor um plano de manutenção iria ser necessário um estudo por um período maior de tempo, além da utilização de dados estatísticos detalhados. Isto iria demandar uma grande organização dos serviços de manutenção realizados, o que surgiu como um empecilho neste estudo.

Para um aprofundamento maior acerca desse problema, sugere-se uma organização maior das O.S para que mais dados técnicos possam ser coletados, como por exemplo a quilometragem em que cada falha ocorreu, o que irá possibilitar a realização de um plano de manutenção, coibindo ou diminuindo as falhas. Além disso, esse fator iria facilitar a eficiência das manutenções com base na utilização de dois indicadores: MTBF e MTTR. Conforme explicado por Freitas (2012), MTTR (*Mean Time To Repair* ou Tempo Médio para Reparo), que diz respeito ao tempo necessário para se executar uma ação corretiva, afim de garantir o funcionamento nas condições normais) e MTBF (*Mean Time Between Failures* ou Tempo Médio Entre as Falhas), que trata do tempo médio entre a ocorrência das falhas, normalmente baseada em minutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Ronald L. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo Diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel**. 2006. 55p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna: Volume 2**. São Paulo: Blucher, 2012, 485p.

CAMPOS, Edwin; PARISE, José; PRUZAESKY, Frank. **Modelagem do Uso de Nanofluidos no Sistema de Arrefecimento de Motores a Combustão Interna**. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. São Paulo: Campus; Elsevier Editora, 2009, 265p.

FREITAS, João. **Organização e melhoria do desempenho do centro de manutenção de apoio às linhas de montagem de autorrádios**. 2012. 93p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal.

IBOPE. **Consumo no Brasil deve chegar a R\$ 1,55 trilhão até o fim do ano**. Disponível em: <<http://www.ibope.com.br/pt-br/noticias/Paginas/Consumo-no-Brasil-deve-chegar-a-1-trilhao-ate-o-fim-do-ano.aspx>>. Acesso em: 07 set. 2017

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009, 361p.

NUNES, Enon L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 84p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OFICINA BRASIL. **Sistema de arrefecimento**. Disponível em: <http://www.oficinabrasil.com.br/hotsites/gm/set_2011.pdf>. Acesso em: 10 Nov. 2017

SAMANIEGO, Manuel R. **Uso de biocombustível da pirólise rápida da palha de cana em um motor de ciclo Otto**. 2007. 118p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHMITT, José C. **Método de análise de falha utilizando a integração das ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA**. 2013. 111p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste.

SCHNEIDER, Ricardo G. **Metodologia para retroalimentação do ciclo de desenvolvimento de produto com dados de confiabilidade oriundos da utilização do produto em campo**. 2001. 97p. – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SINDIPEÇAS. **Análise sobre o levantamento da frota circulante**. Disponível em: < http://www.sindipecas.org.br/sindinews/2017/2017_Junho_AnaliseLevantamentoFrota.pdf >. Acesso em: 01 nov. 2017

SOUZA, Rodrigo Q. **Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de usinas hidrelétricas**. 2008. 226p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

TILLMANN, Carlos. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2013, 165p.

APÊNDICE A – Formulário utilizado com os mecânicos

Componente	Falha/Problema mais comum	Severidade	Ocorrência	Deteção
Bomba d'água				
Válvula Termostática				
Radiador				
Tubulação (mangueiras e mangotes)				
Eletro ventilador				
Fluido de arrefecimento				
Reservatório de água				
Cavalete d'água				

APÊNDICE B – Significado dos termos utilizados

Qual o índice de Severidade apresentado?	Índice
Mínima	1=Efeito não será percebido pelo cliente
Pequena	3=Efeito insignificante que perturba o cliente
Moderada	5=Efeito moderado, insatisfação do cliente
Alta	7=Efeito crítico, alto grau de descontentamento
Muito alta	9=Efeito perigoso afetando a segurança

Ocorrência do modo de falha	Índice
Remota	1= Raramente ocorre
Pequena	3= Ocorre com baixa frequência
Moderada	5=Ocorre moderadamente
Alta	7= Sempre ocorre
Muito alta	9= Ocorre quase que diariamente

Deteção	Índice
Muito alta	1=Detectado facilmente
Alta	3=Detectado relativamente fácil
Moderada	5= Detectado após uma análise
Baixa	7= Difícil de detectar
Remota	9= Provavelmente não será detectado