

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

FERNANDO FELIPE BARCHI

ANÁLISE DE CAUSA RAIZ EM ALTERNADOR VEICULAR

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

FERNANDO FELIPE BARCHI

ANÁLISE DE CAUSA RAIZ EM ALTERNADOR VEICULAR

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE CAUSA RAIZ EM ALTERNADOR VEICULAR por

FERNANDO FELIPE BARCHI

Esta monografia foi apresentada em 05 de outubro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR e ao seu corpo docente que com entusiasmo e excelente didática nos apresentou os conceitos fundamentais da Engenharia da Confiabilidade e também de estatística.

Agradeço aos consultores independentes que lecionaram diversas matérias do curso e sem dúvida abrilhantaram nossos conhecimentos, compartilhando casos reais sempre com muito profissionalismo.

Agradeço aos meus colegas que sala, que sem dúvida fazem parte de um grupo seleto de profissionais com os conceitos da engenharia de confiabilidade.

A secretaria do curso, pela cooperação e constante disposição em nos auxiliar.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Rodrigues.

Deixo também registrado meus agradecimentos à minha família por toda a contribuição para a minha formação acadêmica e constante apoio.

RESUMO

BARCHI, Fernando Felipe. ANÁLISE DE CAUSA RAIZ EM ALTERNADOR VEICULAR. 2018. Número total de 33 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a análise de causa raiz para as falhas de gerara baixa tensão e não gerar tensão em alternador instalados em motor à combustão interna veicular. Apresentar, também, os resultados de análise dos dados de vida, análise de 5 porquês e diagrama de Ishikawa. Foram analisados 192 componentes retornados em garantia e a causa raiz da análise foi identificada como uma variação no processo de soldagem dos diodos da ponte retificadora de tensão. Os dados de vida apresentaram uma probabilidade acumulada de falha de 5,5% em até 100.000km. Sabendo-se que a falha do alternador, aqui avaliada, é de fácil detecção pelo condutor do veículo e não gera risco ao motorista ou ocupantes, o resultado desta análise possibilita a tomada de decisão por parte da montadora de elevar seu estoque alternadores de peças de reposição para atender as reclamações de campo e também apresenta dados estatísticos para auxiliar à alta direção da organização na tomada de decisão mais adequada para atender os clientes de veículos cujos alternadores possam possivelmente apresentar a falha aqui analisada.

Palavras-chave: Análise de garantia. Análise de dados de vida. Alternador. Motor à combustão interna. Análise de causa raiz.

ABSTRACT

BARCHI, Fernando Felipe. ROOT CAUSE ANALYSIS OF VEHICLE ALTERNATOR. 2018. Total number of pages 33. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The intention of this work is to present the root cause analysis for field failures of combustion engine's alternator. The two failure modes evaluated are low voltage supplied by alternator or no voltage supplied by alternator. This work also presents the results of life data analysis, 5 whys analysis and Ishikawa diagram. 192 alternators were evaluated and the root cause for the field reported failures is tension rectifying bridge diode welding process variation. Life data analysis presented a cumulated probability of failure at 100.000km of 5,5%. It is known that this failure does not present risk to the driver or vehicle occupants and it of easy detection to the driver. The results here presented supports the car builder company to increase the alternator spare parts stock in order to avoid customer complaint related to lack of parts to repair the vehicle at the dealership network. The results also support the organization high management on the decision process on the most appropriate repair procedure towards vehicle population, which the engines' alternator may present the reported failure.

Key words: Warranty analysis. Life data analysis. Alternator. Combustion Engine. Root Cause Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Alternador – Vista explodida – Montagem e componentes.....	18
Figura 2.2 – Indicativo da tensão em corrente contínua [esquerda], e em corrente alternada [direita].....	19
Figura 2.3 – Luz indicativa de falha no sistema de carga do veículo.....	20
Figura 3.1 – Diagrama de Ishiwaka – Modelo esquemático.....	24
Figura 3.2 – Diagrama de Ishikawa com famílias comumente utilizadas na indústria	24
Figura 4.1 – Distribuição de modos de falha avaliados em peças retornadas de campo.....	26
Figura 4.2 – Gráfico Probabilidade – Distribuição Weibull.....	27
Figura 4.3 – Diagrama de Ishikawa para avaliação de causa e efeito para a solda do eletrodo.....	30
Figura 4.4 – Diagrama de Ishikawa após as avaliações das possíveis causas.....	30
Quadro 3.1 – Exemplo de 5 Porquês.....	23
Quadro 4.1 – RCA - 5 Porquês - Alternadores retornados em garantia	28
Fotografia 4.1 - Imagem do diodo com solda incompleta.....	29
Fotografia 4.2 - Eletrodos desalinhados durante o processo de montagem.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

RCA	<i>Root Cause Analysis</i> – Análise de causa raiz
LDA	<i>Life Data Analysis</i> – Análise de dados de vida
5W	5 <i>Whys</i> – 5 Porquês
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

β – Parâmetro de forma

η – Vida característica

V – Volts [unidade de medida para tensão elétrica]

A – Ampere [unidade de medida para corrente elétrica]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	ALTERNADOR VEÍCULAR QUE EQUIPAM MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA.....	18
2.1	ALTERNADOR VEÍCULAR.....	18
2.2	FUNCIONAMENTO DO ALTERNADOR VEÍCULAR.....	18
2.3	ANÁLISE DA FALHA ESTUDADA.....	20
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	21
3	ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE.....	22
3.1	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA (LDA).....	22
3.2	ANÁLISE DE CAUSA RAIZ (RCA).....	22
3.2.1	MÉTODO DOS 5 PORQUÊS:.....	23
3.2.2	DIAGRAMA DE ISHIKAWA:.....	23
3.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	25
4	ANÁLISE DOS ALTERNADORES PARA MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA.....	26
4.1	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA (LDA).....	26
4.2	ANÁLISE DE CAUSA RAIZ (RCA).....	28
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	31
5	CONCLUSÃO.....	33
6	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Alternador é um componente largamente utilizado em motores à combustão interna e tem o objetivo de gerar tensão elétrica suficiente para alimentar todos os circuitos elétricos do veículo bem como gerar carga suficiente para recarregar a bateria do veículo.

Os veículos, geralmente, são dotados de sistemas que identificam falhas no alternador, caso este venha apresentar falhas que resultem na geração de tensão mais baixa que a necessária para a alimentação do sistema elétrico do veículo. Caso a o alternador gere uma tensão menor a especificada, a luz da bateria se acende no painel do veículo para informar ao condutor que existe uma falha, ou anomalia, no sistema de carga do veículo.

Em uma empresa do setor automobilístico, foi identificado aumento no número de reclamações relacionadas ao alternador aplicado em motores veiculares de combustão interna. Assim, um estudo de causa raiz de falha bem como a estimativa de probabilidade de falhas em até 100.000Km tornou-se necessário.

Foi observado que veículos submetidos à substituição do componente não voltavam a apresentar falha (ou reincidência), desta forma, hipótese consiste em falha do componente alternador, e não na instalação elétrica do veículo e/ou outros componentes ou acessórios instalados no veículo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar as metodologias de análise de causa raiz e de dados de vida para identificar os modos de falha com o objetivo de se aplicar as ações corretivas no processo e/ou produto a fim de eliminar as paradas não programadas, dos veículos novos, identificados pelo usuário final através da luz de bateria acesa no painel de instrumentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

O resultado deste trabalho deverá atender também aos seguintes objetivos:

- Levantar a quantidade de falhas nos alternadores em campo.
- Levantar a quilometragem de cada uma das falhas nos alternadores em campo.
- Identificar, através das metodologias da RCA, a causa raiz da falha no alternador aplicado ao motor de combustão interna.
- Calcular a probabilidade de falha dos veículos equipados com os alternadores, possivelmente defeituosos, para 100.000 km em uso.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os consumidores de veículos novos (0km) não esperam que os automóveis apresentem falhas após pouco tempo em uso. A luz de bateria acesa no painel, causa insatisfação dos clientes que recém adquiriram os veículos.

Reparos em veículos com pouco tempo em uso também resultam em desgaste para as montadoras, resultando em gastos com peças em garantia, gastos com mão-de-obra em garantia, gastos com retornos das peças aos armazéns de garantia, gastos com envio das peças defeituosas aos fabricantes e ainda resultam em uma imagem negativa do seu produto perante os consumidores.

A identificação de causa raiz permite ainda que o fabricante de alternadores preventivamente possa alterar o produto e/ou processo para evitar que a mesma falha ocorra em outras peças mesmo que ainda não tenham sido reportadas.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho terá como início uma análise de dados de vida (LDA - *Life Data Analysis*) com os dados de falha de alternadores aplicados em motores de combustão interna veicular.

Para a análise de causa raiz e determinação de ação corretiva, poderá ser necessário o suporte técnico do fornecedor do componente.

Para os cálculos de probabilidade de falha até 100.000 km será necessário o uso dos computadores, bem como dos softwares neles instalados, da UTFPR.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

- O Capítulo 2 apresenta os detalhes relacionados à operação e o modo de falha que será estudado neste trabalho.
- O Capítulo 3 apresenta as ferramentas utilizadas para o LDA e RCA, bem como os seus dados.
- O Capítulo 4 apresenta os resultados das análises de LDA e RCA, as ações de correção adotadas para a eliminação da falha no componente avaliado.
- O Capítulo 5 finaliza o trabalho na apresentação das análises dos resultados obtidos.

2 ALTERNADOR VEÍCULAR QUE EQUIPAM MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA

2.1 ALTERNADOR VEÍCULAR

O alternador aplicado aos motores de combustão interna veicular faz parte do sistema de energia de um veículo. Os alternadores são responsáveis por transformar energia mecânica em energia elétrica baseado no fenômeno da indução eletromagnética. O alternador é fixado ao motor por meio de parafusos e a energia mecânica é transmitida ao alternador por meio de correias que estão ligadas no motor e no alternador.

A energia elétrica gerada pelo alternador de um veículo tem a função de alimentar os sistemas consumidores de carga, como por exemplo, faróis, rádio, sistema de ventilação, luzes internas, módulos de motor, transmissão, carroceria, etc. bem como carregar a bateria do veículo.

2.2 FUNCIONAMENTO DO ALTERNADOR VEÍCULAR

O alternador veicular, aqui estudado, é composto por diversos componentes, conforme apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Alternador – Vista explodida – Montagem e componentes



Fonte: Bosch, 2018.

A polia é responsável por transmitir a energia mecânica fornecida pela correia do motor às partes internas do alternador.

O Rotor (1) tem seu eixo apoiado em dois rolamentos, e é a parte que efetivamente gira baseado na rotação do motor. No rotor estão montadas as placas polares, que são basicamente ímãs com polaridade norte e sul intercaladas.

No Estator (2) a energia elétrica é produzida por meio do fenômeno da indução eletromagnética. O estator é constituído de bobinas de fios de cobre fixadas em um núcleo construído de aço. A indução eletromagnética ocorre quando temos movimento relativo entre um ímã e um condutor, neste caso o movimento de rotação das placas polares do rotor, em relação às bobinas de cobre. A corrente elétrica gerada no alternador é do tipo alternada, no entanto os sistemas elétricos do veículo são alimentados por corrente contínua.

Para transformar corrente elétrica alternada, gerada pelo movimento do eixo do alternador, em corrente elétrica contínua, para alimentar os sistemas elétricos do veículo, o alternador possui um conjunto retificador de corrente e tensão (3). Durante o processo de retificação da corrente os picos positivos da corrente nos dois sentidos são convertidos para uma polaridade positiva. Isto ocorre através de um conjunto de diodos e capacitores.

Figura 2.2 – Indicativo da tensão em corrente contínua [esquerda], e em corrente alternada [direita]



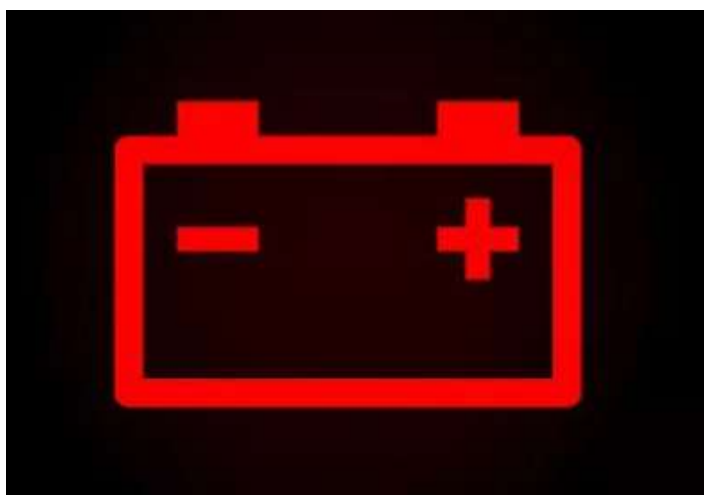
Fonte: <https://electri-fying.weebly.com/dangers-of-electric-shocks--ac-and-dc.html>.

Pode-se observar na Figura 2.2, a diferença de corrente contínua e corrente alternada. A corrente contínua tem um valor estabelecido, que se mantém praticamente constante, após a retificação. Já a corrente alternada, como o próprio nome diz, alterna entre positiva e negativa, em uma determinada faixa. Seus picos e vales, em módulo, têm o mesmo valor.

2.3 ANÁLISE DA FALHA ESTUDADA

A análise de causa raiz deste trabalho tem como objetivo estudar o motivo do aumento das reclamações relacionadas ao acendimento da luz indicativa de falha do sistema de carga do veículo. A luz indicativa de falha no sistema de carga do veículo irá acender, com objetivo de informar ao condutor alguma avaria neste sistema, caso de o alternador gerar uma tensão menor que a esperada ou caso o alternador não gerar qualquer tensão.

Figura 2.3 – Luz indicativa de falha no sistema de carga do veículo



Fonte: O autor (2018).

A Figura 2.3 apresenta a luz indicativa de falha no sistema de carga do veículo. Esta luz é por padrão, igual em todos os veículos automotores.

Análises preliminares realizadas nos veículos afetados, comprovam que a falha é do alternador em si, tendo em vista que após a substituição deste equipamento, o sintoma da falha (luz indicativa no painel) é eliminada e não volta a ocorrer. Esta análise elimina qualquer dúvida de a causa da luz indicativa de falha no sistema de carga acender esteja relacionada à instalação, chicote ou outro componente do veículo.

Realizando medições em peças retornadas de campo, pôde-se observar dois modos de falhas diferentes nos alternadores, um modo de falha está relacionado à tensão 0V gerado pelo alternador, e outro modo de falha relacionada à

tensão gerada pelo alternador abaixo da tensão especificação, de aproximadamente 14,7V.

Uma análise de causa raiz, faz-se necessário para identificar se os dois modos de falha distintos têm a mesma causa raiz. As ferramentas de LDA e RCA utilizadas serão apresentadas no próximo capítulo.

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os componentes internos de um alternador, o conceito do funcionamento do alternador e seu papel no sistema de carga, ou sistema elétrico de um veículo movido à combustão interna. Também foram apresentadas as diferenças entre corrente contínua e corrente alternada e qual é o componente do alternador responsável pela retificação de corrente alternada em contínua.

O entendimento dos conceitos apresentados no capítulo 1 são de fundamental importância, para que na sequência do trabalho, seja possível entender o componente do alternador que é causa das falhas em campo. Aprofundada a análise no componente causador, chegar à sua causa raiz e entender o impacto no funcionamento do alternador e do sistema de carga do veículo.

Os conceitos e ferramentas de confiabilidade utilizados neste trabalho, na análise dos dados de peças retornadas de campo, bem como para se atingir a causa raiz das falhas, serão explicadas no capítulo 3.

3 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Neste capítulo serão apresentadas algumas as ferramentas e conceitos da Engenharia da Confiabilidade. As ferramentas aqui expostas, são as que foram utilizadas nas análises para se atingir a causa raiz das falhas dos alternadores para veículos com motores à combustão interna.

3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA (LDA)

A análise de dados de vida (conhecida em inglês por *Life Data Analysis* ou LDA) estuda e modela, de forma estatística, a vida dos objetos analisados. Os dados de vida podem ser estipulados como: o tempo em que o objeto opera sem ocorrência de falha, ciclos até a falha, ciclos de estresse, entre outras métricas com a qual se possa medir a vida de um objeto ou produto.

A análise de LDA também é conhecida como análise de *Weibull*, uma vez que esta análise consiste em coletar os dados de vida do objeto, ou produto analisado, definir o modelo matemático que irá representar os dados de vida coletados, plotar estes dados em um gráfico de probabilidade acumulada de falha X tempo de uso (seja esse tempo, ou ciclos ou qualquer outra métrica utilizada) e então gerar os resultados que estimam a vida característica do produto (também conhecida como η (eta)).

3.2 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ (RCA)

As metodologias para análise de causa raiz (do inglês *Root Cause Analysis* ou RCA) servem para definir os mecanismos de falha, identificar sua causa e definir as ações corretivas de forma lógico e estruturado.

As ferramentas de RCA utilizadas neste trabalho são: 5 porquês (5W) e diagrama de causa e efeito, ou diagrama de Ishikawa.

3.2.1 Método dos 5 porquês:

O método dos 5 porquês, consistem em respostas simples para as respostas sequenciais de causa e efeito. A resposta do primeiro porquê, ou do primeiro W, tem como pergunta inicial o efeito que se está analisando.

Quadro 3.1 – Exemplo de 5 Porquês

1 W	2 W	3 W	4 W	5 W
Resposta 1	Resposta 2	Resposta 3	Resposta 4	Causa

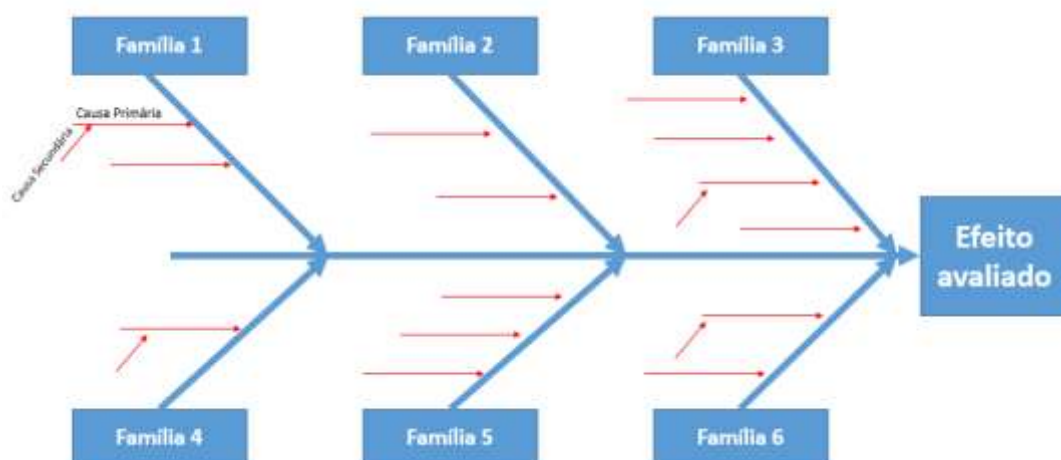
Fonte: O autor (2018).

Cada uma das respostas oferecidas ao porquê anterior vira a pergunta do próximo porquê. Só se finalizam as perguntas do porquê quando não se consegue mais responder. Esta última resposta é a causa que se deve atacar, pois esta é a causa raiz da falha que se estuda.

3.2.2 Diagrama de *Ishikawa*:

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, ou diagrama espinha de peixe organiza os elevados números de fatores, (ou causas) de falha possíveis em determinado estudo, em famílias, conforme Figura 3.1. Neste método também é possível de se incluir causas primárias e secundárias para a falha em estudo.

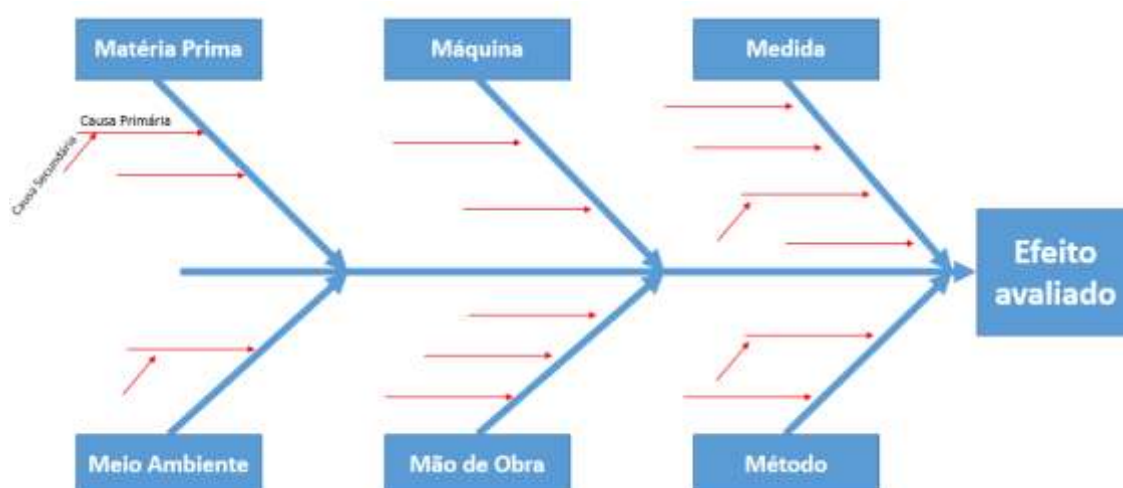
Figura 3.1 – Diagrama de Ishiwaka – Modelo esquemático.



Fonte: O autor (2018).

O diagrama de Ishiwaka mais conhecido na indústria já considera algumas famílias específicas, conforme Figura 3.2:

Figura 3.2 – Diagrama de *Ishikawa* com famílias comumente utilizadas na indústria



Fonte: O autor (2018).

Como é possível de se observar na Figura 3.2, nota-se que as famílias já estão pré-estabelecidas. Isto tem como base os principais grupos, ou famílias, onde a causa das falhas ocorrem. Também pode-se observar que nem todas as causas primárias ou famílias apresentam causas secundárias. Não é obrigatório apresentar

as causas secundárias, porém o diagrama de Ishikawa nos permite inserir, quando aplicável.

3.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

No capítulo 3 foram expostas as metodologias de LDA e de RCA e as formas adequadas para sua utilização. O LDA é uma forma de se calcular e plotar os dados de falha coletados do objeto que se deseja estudar. O RCA apresenta ferramentas eficazes e objetivas para organizar as causas e efeitos de determinada falha observada.

Os resultados obtidos com as ferramentas de LDA, 5 porquês e diagrama de Ishikawa serão apresentados no próximo capítulo, bem como os cálculos referentes à estimativa de probabilidade acumulada de falha aos 100.000km também serão apresentados no capítulo 4.

4 ANÁLISE DOS ALTERNADORES PARA MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA

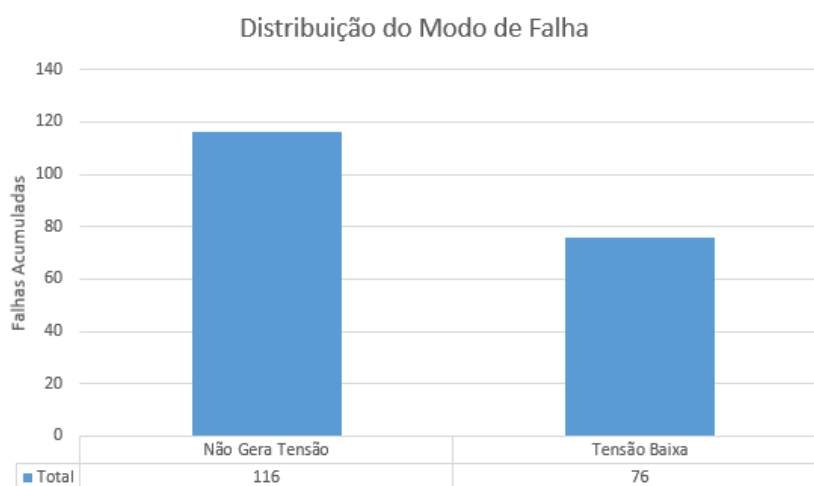
Para a análise de causa e efeito e causa raiz, dos alternadores aplicados em motores à combustão interna, foram utilizadas peças retornadas de campo em garantia. Todas as peças retornadas de campo têm uma etiqueta de identificação, com a qual é possível de se rastrear os seguintes dados: Número do chassi do veículo, quilometragem da falha, data de fabricação do veículo, data de venda do veículo, concessionário que realizou a substituição e o modo de falha do componente.

As informações contidas na etiqueta de garantia são importantes, pois com elas pode-se realizar uma avaliação preliminar, buscando-se observar se as falhas estão concentradas em uma determinada região do país ou se há mais de 1 modo de falha para determinado componente.

4.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA (LDA)

Os alternadores retornados de campo foram separados grupos levando-se em conta seu modo de falha. Pode se identificar dois principais modos de falhas para os alternadores aqui estudados. Utilizando-se de um gráfico de Pareto, observa-se a distribuição dos modos de falha, conforme Figura 4.1.

Figura 4.1 – Distribuição de modos de falha avaliados em peças retornadas de campo.

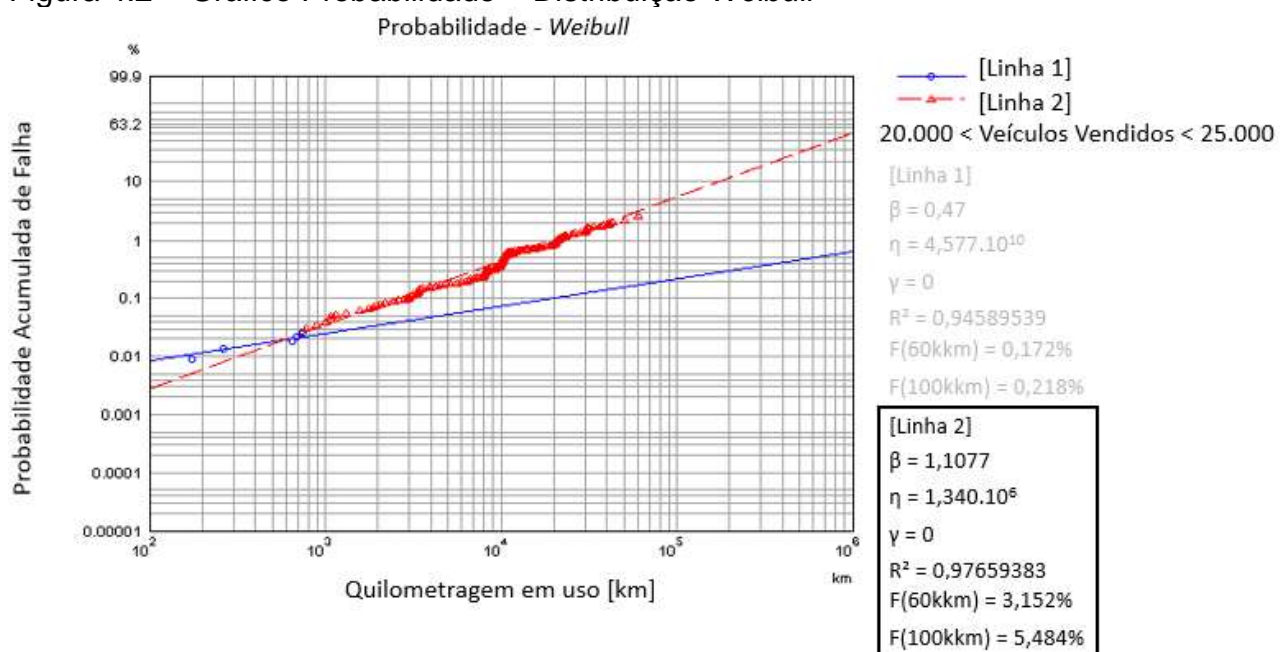


Fonte: O autor (2018).

Observa-se que dos 192 alternadores retornados de campo, existem 2 modos de falha: Não gera tensão, ou seja, o alternador gera 0V de tensão. E tensão baixa, onde o alternador gera uma tensão entre 0,1V e abaixo de 14,7V, a especificada. Ambas as condições são suficientes para o sistema de controle de carga do veículo identificar falha no sistema elétrico e ascender a luz de advertência no painel.

Com os dados das peças retornadas em garantia, bem como conhecendo-se o volume total de veículos produzidos e a data de venda de cada um deles, plota-se o gráfico de Weibull levando em conta as falhas e as suspensões à direita.

Figura 4.2 – Gráfico Probabilidade – Distribuição Weibull



Fonte: O autor (2018).

A análise realizada do gráfico da Figura 4.2, considera-se apenas os dados da linha vermelha (linha 2). Nesta análise será desconsiderada as 4 falhas dos dados em azul (linha 1), por estarem muito divergentes da curva 2, entende-se por falhas de digitação e/ou dados incorretos fornecidos pela concessionária.

O parâmetro de forma ($\beta=1,1077$) da curva plotada acima, indica que se trata de um modo de falha por desgaste. A vida característica ($\eta=1,340 \times 10^6$) é a quilometragem em uso que se espera que 63,2% desta população de alternadores apresente falha.

Observa-se através dos resultados obtidos do gráfico que a probabilidade acumulada de falhas para 100.000km é de 5,484% [F (t=100k km)] desta população de alternadores. Dados históricos da própria montadora indicam que veículos leves de passeio rodam em média 13.000km (+/- 2.000km) ao ano, e seus veículos comercializados no Brasil têm 3 anos de garantia, desta forma, espera-se que os veículos saiam do período de garantia entre 33.000 e 45.000 km. Neste período menos de 3% dos veículos apresentarão falha no alternador.

Após a separação das peças retornadas de campo nos dois principais modos de falha distintos, utiliza-se a ferramenta 5 porquês (5W) e diagrama de *Ishikawa* com objetivo de se encontrar a causa raiz da falha.

4.2 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ (RCA)

Na análise de causa raiz, duas metodologias foram aplicadas para se obter a causa raiz da falha. A primeira metodologia utilizada foram os 5 porquês (5W). Com os 5 porquês, busca-se encontrar o subconjunto do alternador que apresenta a falha, desta forma, pode-se fazer um diagrama de *Ishikawa* mais objetivo, focado apenas no subconjunto falhado.

Quadro 4.1 – RCA - 5 Porquês - Alternadores retornados em garantia.

1 W	2 W	3 W	4 W	5 W
Luz de carga acesa no painel do veículo	Sistema de controle do veículo identificou carga fora do especificado	Tensão gerada pelo alternador está abaixo do especificado	Tensão retificada pelo conjunto retificador está fora do especificado	Falha do conjunto retificador de tensão

Fonte: O autor (2018).

Com o resultado obtido através do 5W, apresentado no Quadro 4.1, aprofunda-se as análises das peças retornadas de campo com o objetivo de avaliar as potenciais falhas do conjunto retificador de tensão.

Após a desmontagem dos componentes pôde-se testar e avaliar o conjunto retificador de tensão, durante os testes, observou-se que um dos três diodos do conjunto retificador está queimado, sem funcionamento adequado, não completado a tarefa de retificar a tensão. Ao se inspecionar visualmente o diodo queimado,

observa-se que a solda do diodo no conjunto retificador não se apresenta de forma completa. Existem evidencias de respingos de solda, bem como marca de atrito, e/ou contato, na superfície do diodo conforme Fotografia 4.1.

Fotografia 4.1 – Imagem do diodo com solda incompleta.

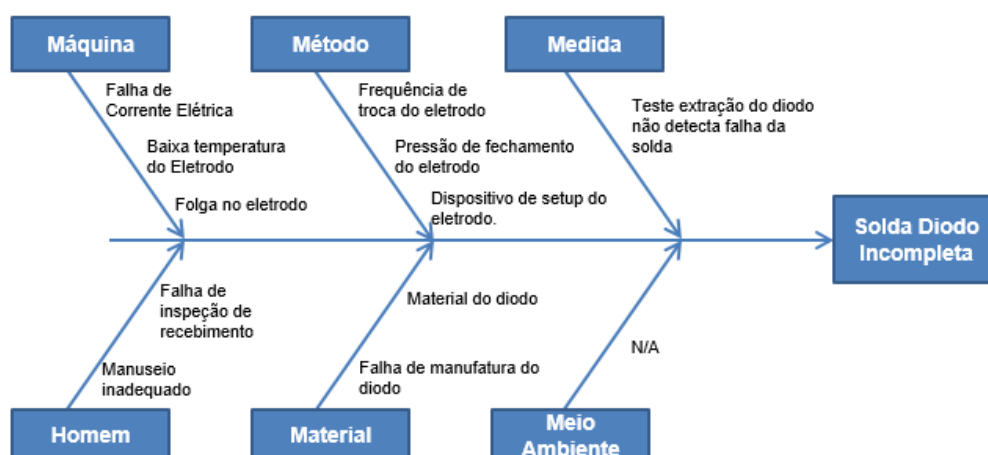


Fonte: O autor (2018)

O respingo de solda indica que a solda foi realizada de forma incompleta. A solda incompleta não permite uma passagem de carga elétrica adequado pelo diodo e acarreta em sua falha (queima). A marca de atrito indica uma possibilidade de contato durante o processo de solda do diodo na ponte retificadora de tensão.

No diagrama de Ishikawa, conforme Figura 4.3, estão apresentadas as principais causas que podem resultar no efeito do diodo com solda incompleta. Uma análise mais profunda de cada uma das causas listadas é necessária para se atingir a causa raiz da falha da solda incompleta.

Figura 4.3 – Diagrama de Ishikawa para avaliação de causa e efeito para a solda do eletrodo.



Fonte: O autor (2018)

Após as análises das potenciais causas apresentadas no diagrama de *Ishikawa*, a causa raiz da falha foi identificada no dispositivo de setup do eletrodo, conforme observado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Diagrama de Ishikawa após as avaliações das possíveis causas

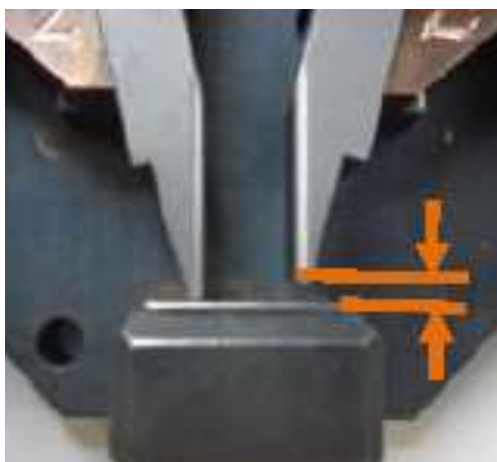


Fonte: O autor (2018).

A análise no processo de fabricação permitiu identificar através da solda incompleta e da marca de atrito no diodo, que o dispositivo utilizado para a montagem dos eletrodos de solda do diodo não garante a altura adequada. Desta

forma durante a instalação dos eletrodos, existe a possibilidade destes ficarem desalinhados e ocorrer o contato com o diodo durante o processo de soldagem.

Fotografia 4.2 – Eletrodos desalinhados durante o processo de montagem.



Fonte: O autor (2018).

O desalinhamento dos eletrodos observados na Fotografia 4.2 poderá acarretar em contato com o diodo durante o processo de soldagem. O contato com o eletrodo poderá resultar em deficiência da força de fechamento durante a solda do diodo e com isso resultar em um processo de solda incompleta do diodo na ponte retificadora de tensão.

Um dispositivo de montagem dos eletrodos que garante o alinhamento adequado dos eletrodos será adotado como ação corretiva no processo de fabricação do fornecedor da ponte retificadora de tensão.

4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

No capítulo 4 foram expostos os resultados das análises dos dados de vida dos alternadores, a probabilidade acumulada de falha para 60.000 e 100.000 km em uso. Também foram detalhados os passos das análises de causa raiz e a ação corretiva tomada para se eliminar a falha.

A análise aqui detalhada tem por objetivo apresentar recursos e dados para que a alta gestão da organização possa decidir quanto às possíveis ações à serem tomadas para veículos já vendidos. Cabe ressaltar aqui que as falhas, que eventualmente venham ser observadas pelos clientes, são de fácil detecção pelo

usuário do veículo quem poderá facilmente direcionar seu veículo para a concessionária mais próxima.

5 CONCLUSÃO

O alternador desempenha um papel fundamental no funcionamento adequado de um veículo movido à motor de combustão interna. O alternador gera a carga elétrica necessária para manter todos os sistemas do veículo em funcionamento, bem como recarregar a bateria do veículo. Uma falha neste sistema, é de fácil detecção pelo condutor do veículo, não faz com que o veículo pare imediatamente, porém exige que o automóvel seja imobilizado para seu reparo.

Por se tratar de uma análise de falha de produto atualmente comercializado no mercado de automóveis, obtêm-se muitos dados para uma análise de dados de vida, diferentemente de um estudo de produto em desenvolvimento. Neste estudo foram utilizados 192 dados de componentes retornados em garantia e com as análises de diagrama de Ishikawa, ferramenta de 5 porquês detectou-se a causa raiz da falha observada. As maiores dificuldades foram obter-se dados de campo completos e detalhados. Algumas vezes, não se obtêm de forma detalhada do modo de falha, então testes de reprodução em bancada ou em veículo, torna-se necessário.

Os alternadores aqui avaliados equipam algumas versões de motores de determinada montadora. Esta montadora de veículos oferece uma garantia contratual de 3 anos à partir da data da compra do veículo. Para realizar uma análise mais conservadora neste trabalho, decidiu-se verificar a probabilidade de falha acumulada em 2 tempos de uso do veículo, com 60.000Km e com 100.000km. Os estudos de dados de vida apresentaram uma probabilidade de falha acumulada $F(t)$ de: $F(t=60k km) = 3,2\%$ e $F(t=100k km) = 5,5\%$. Estes resultados indicam que espera-se que 3 veículos com até 60.000Km e 5 veículos com até 100.000 apresentem a falha do alternador aqui avaliada.

Por não se tratar de uma falha diretamente relacionada à segurança do condutor ou os ocupantes do veículo e de fácil detecção da ocorrência da falha pelo condutor, através da iluminação de uma luz que avisa a falha no sistema de carga do veículo, a alta direção da empresa pode tomar a decisão de como tratar o lote de veículos potencialmente afetados com os alternadores aqui avaliados.

Com base neste estudo a organização pode tomar a decisão que é mais adequada para as falhas na solda do diodo do alternador. 1- aguardar que as falhas

ocorram em garantia e substituir o componente. 2- informar a rede de concessionárias que os veículos produzidos em determinado período, podem ter os alternadores com possível soldagem incompleta dos diodos e recomendar a troca, independentemente da ocorrência de falha ou não. A empresa também pode já avaliar seu estoque de peças de reposição, considerando o volume esperado de falhas à fim de evitar que os veículos dos clientes permaneçam imobilizados por muito tempo.

Conclui-se, portanto que, por não haver risco à segurança do condutor ou ocupante e, como a falha ser de fácil detecção pelo usuário do veículo que a montadora e seu fornecedor devem avaliar o estoque de peças de reposição à fim disponibilizar componentes aos veículos que venham a apresentar a falha de forma rápida. Estudar a decisão mais adequada para os motores produzidos com os alternadores potencialmente afetados pela solda incompleta do diodo e seu impacto financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (modelo de referência com autoria coletiva). **NBR 6023**: Informação e documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BOSCH. **Alternadores, Motores de Partida e Principais Componentes**: 2015 - 2016. Disponível em: http://br.bosch-automotive.com/media/parts/download_2/motores_eletricos/Cat_Linha_Eletrica_RM_2015-2016_LowRes.pdf Acesso em 19 ago. 2018.