

**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC**  
**Curso Pós Graduação em Engenharia Automotiva**



**EDISON PORTO MASCARENHAS**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA DIAGNOSTICO DA  
MANUTENÇÃO CORRETIVA PREMATURA DO SISTEMA DE  
EMBREAGEM VEICULAR UTILIZANDO VEÍCULOS LEVES**

**Salvador**

**2015**

**EDISON PORTO MASCARENHAS**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA DIAGNOSTICO DA  
MANUTENÇÃO CORRETIVA PREMATURA DO SISTEMA DE  
EMBREAGEM VEICULAR UTILIZANDO VEÍCULOS LEVES**

Trabalho final apresentado ao SENAI-CIMATEC, na Pós-graduação em Engenharia Automotiva, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista.

**Orientador:** Profº MSC Júlio Câmara

**Salvador**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

M395a Mascarenhas, Edison Porto

Aplicação da metodologia FMEA para diagnóstico da manutenção corretiva prematura do sistema de embreagem veicular utilizando veículos leves / Edison Porto Mascarenhas. – Salvador, 2015.

67 f. : il. color.

Orientador: Prof. MSc. Júlio César Chaves Câmara.  
Coorientador: Prof. Maurício Lerina Bonifati.

Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.  
Inclui referências.

1. Embreagem veicular. 2. Acionamento do pedal - Veículos. 3. FMEA. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Câmara, Júlio César Chaves. III. Bonifati, Maurício Lerina. IV. Título.

CDD 629.2

# **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA FMEA PARA DIAGNOSTICO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA PREMATURA DO SISTEMA DE EMBREAGEM VEICULAR UTILIZANDO VEÍCULOS LEVES**

Por

**EDISON PORTO MASCARENHAS**

Projeto Final de Curso aprovado com nota 8,5  
como requisito parcial para a obtenção do  
Certificado de Especialista em Engenharia  
Automotiva, tendo sido julgado pela Banca  
Examinadora formada pelos professores:

---

**Orientador: Prof<sup>o</sup>. MSC Júlio Câmera - SENAI-CIMATEC**

---

**CO-Orientador: Prof<sup>o</sup>. Mauricio Bonifati - SENAI-CIMATEC**

---

**Convidado: Prof.<sup>a</sup> Marinilda Souza - SENAI- CIMATEC**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, ao autor da minha vida, Deus, que me deu a oportunidade de iniciar este curso e forças para concluí-lo. Tenho a certeza que sem a permissão dele eu não estaria neste momento escrevendo estas palavras de agradecimentos  
À minha família em especial a minha mãe D. Raimunda, por nunca deixar de acreditar na minha capacidade.

Ao Prof<sup>o</sup> Júlio Câmera pela orientação segura e pelo incentivo imprescindível, para elaboração deste trabalho final de conclusão da pós-graduação.

Aos componentes da banca examinadora.

Aos integrantes da Casa Militar do Governador, nas pessoas pela disponibilização dos materiais coletados.

A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho tem por finalidade diagnosticar a causa da manutenção corretiva prematura do kit de embreagem (disco, platô, colar e bomba do pedal), dos veículos pertencentes à frota da Casa Militar do Governador, identificando assim, as causas de falhas destes componentes e apontando propostas para a solução do problema. O processo de manutenção corretiva do kit de embreagem tem como pressuposto básico atender as especificações estipuladas pelo fabricante, o qual preconiza 90000 km para o trânsito urbano e 120000 km para o trânsito rodoviário, tendo como base esses dados observou-se que os veículos pertencentes à aquela Diretoria de Transporte, não conseguiam atingir o período de vida útil da embreagem de acordo ao estabelecido, nas especificações do Manual da Sachs. Desta forma, o diagnóstico da causa/efeito dos componentes do sistema foi realizado através, da Análise do Modo e Efeitos de Falhas-FMEA, que neste caso foi apresentado através de uma ferramenta gráfica, denominada a Análise da Árvore de Falhas-FTA. Após a construção da Árvore de Falhas e analisados os modos e as causas de falhas foi montada uma matriz de correlação com o objetivo de ser mais uma ferramenta para ratificar os modos de falhas e suas respectivas consequências.

Por fim, tendo como base as informações coletadas nesta investigação de modos e causa de falhas dos componentes do sistema de embreagem ficou evidenciado que a falta de uma perfeita ergonomia entre o condutor e o veículo foi a causa da manutenção corretiva prematura do kit de embreagem. Assim sendo foi iniciado, para os condutores da Diretoria de Transporte, uma sequência de cursos básicos de noções de componentes automotivos e seus princípios de funcionamento com o intuito de melhorar a disponibilidade destes componentes e, por conseguinte reduzir custos.

**Palavras Chave: Embreagem. Acionamento. FMEA.**

## **ABSTRACT**

This study aims to diagnose the cause of premature corrective maintenance clutch kit (disk, plateau, necklace and pedal pump), vehicles belonging to the fleet of the Military Governor, thereby identifying the causes of failures of these components and pointing proposals for the solution of the problem. The corrective maintenance process of the clutch kit has the basic assumption meet the specifications stipulated by the manufacturer, which advocates 90000 km for the urban traffic and 120000 km for road traffic, based on these data it was observed that the vehicles belonging to that Board of Transportation, could not reach the service life of the agreement reached clutch, the specifications of Sachs Manual. Thus, the diagnosis of the cause / effect of system components was conducted through the mode analysis and-FMEA Fault effects, which in this case was presented through a graphical tool called the Tree Analysis of Failures-FTA. A correlation matrix in order to be a tool to ratify the failure modes and their consequences after the construction of fault tree and analyzed the modes and causes of failure was assembled.

Finally based on the information collected in this investigation modes and causes of failures of the components of the clutch system was evident that the lack of a perfect ergonomics of the driver and the vehicle was the cause of premature corrective maintenance clutch kit. Thus it was initiated for drivers of the Transport Board a sequence of courses in basic notions of automotive components and their operating principles in order to improve the performance of these components availability of these components and therefore reduce costs.

**Key Words: Clutch. Drive. FMEA.**

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Representação de um Sistema de Embreagem Cônica.....	16
FIGURA 2 – Representação de um Platô de Molas Helicoidais .....	17
FIGURA 3 – Mola Membrana.....	17
FIGURA 4 – Mola Membrana Aberta .....	18
FIGURA 5 – Montagem do Kit de Embreagem .....	19
FIGURA 6 – A Embreagem.....	19
FIGURA 7 – A Placa de Pressão (Platô) .....	21
FIGURA 8 – Platô de Mola Membrana.....	21
FIGURA 9 – Disco de Embreagem .....	22
FIGURA 10 – Volante do Motor .....	24
FIGURA 11 – Bomba de Embreagem.....	25
FIGURA 12– Cilindro Atuador (Servo de Acionamento) .....	25
FIGURA 13 – Cilindro Atuador fixado na Carcaça da Caixa de Marcha.....	26
FIGURA 14 – Sistema de Acionamento.....	27
FIGURA 15 – Pedal de uma Embreagem .....	32
FIGURA 16 – Meia-Embreagem .....	33
FIGURA 17 – Excesso de Carga .....	33
FIGURA 18 – Acionamento e Desacionamento.....	34
FIGURA 19 – Arrancada Brusca .....	34
FIGURA 20 – Marcha Inadequada.....	35
FIGURA 21 – Reduções Bruscas de Velocidades .....	35
FIGURA 22 – Planejando o FMEA.....	42
FIGURA 23 – Evento Principal de um Modo de Falha.....	45
FIGURA 24 – Diagramas em Blocos .....	48
FIGURA 25– Árvore de Falhas em Série .....	49
FIGURA 26 – Diagramas em Blocos em Paralelo .....	49
FIGURA 27 – Árvore de Falhas em Paralelo.....	50
FIGURA 28 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Geral) .....	52
FIGURA 29 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Disco) .....	53
FIGURA 30 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Platô) .....	54
FIGURA 31 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Atuador).....	55

FIGURA 32 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Bomba) .....	56
FIGURA 33 – FMEA Para Evento Principal Embreagem (Volante) .....	57

## LISTA TABELAS

TABELA 1 – Dificuldade de Engate .....	37
TABELA 2 – Embreagem Trepida.....	38
TABELA 3 – Embreagem Patina.....	39
TABELA 4 – Embreagem com Ruído.....	39
TABELA 5 – Listagem dos Componentes.....	41
TABELA 6 – Veículos Analisados .....	58
TABELA 7 – Análise Disco Modo de Falha .....	59
TABELA 8 – Análise Platô Modo de Falha.....	60
TABELA 9 – Análise Atuador Modo de Falha .....	60
TABELA 10 – Análise Volante do Motor Modo de Falha .....	60
TABELA 11 – Análise Bomba do Pedal Modo de Falha .....	60
TABELA 12 – Matriz de Correlação .....	62

## **GRÁFICO**

GRÁFICO 1 - Validação da curva de um pedal .....	29
GRÁFICO 2 - Curva de Acionamento do Platô .....	31
GRÁFICO 3 - Área para Interpretação do FMEA.....	44
GRÁFICO 4 - Gráfico da Média de Quilometragem X Marcas de Veículo.....	59

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 MANUTENÇÃO DE FROTA VEICULAR (SISTEMA DE EMBREAGEM) .....	13
<b>2. JUSTIFICATIVA/MOTIVÇÕES</b> .....	<b>14</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
4.1 BREVE HISTÓRICO .....	16
4.2 A EMBREAGEM .....	18
4.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE EMBREAGEM .....	20
<b>4.3.1 A Placa de Pressão (platô)</b> .....	<b>20</b>
<b>4.3.1.1 Partes e a Função de Cada Componente do Platô</b> .....	<b>21</b>
<b>4.3.2 O Disco de Embreagem</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3.3 O Volante do Motor</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3.3.1 Volantes em mau estado provocam:</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3.4 Bombas de Embreagem (Cilindro Mestre)</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3.5 Cilindro Atuador (Servo de Acionamento)</b> .....	<b>25</b>
4.4 O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA EMBREAGEM.....	26
4.5 O CONJUNTO DA EMBREAGEM E SUA FINALIDADE .....	28
4.6 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES Da EMBREAGEM.....	28
4.7 PROCESSOS DE DESGASTES DAS EMBREAGENS.....	32
<b>4.7.1 Pedal de Embreagem</b> .....	<b>32</b>
<b>4.7.2 Meia-embreagem</b> .....	<b>33</b>
<b>4.7.3 Excesso de Carga</b> .....	<b>33</b>
<b>4.7.4 Acionamento e Desacionamento</b> .....	<b>34</b>
<b>4.7.5 Arrancada Brusca</b> .....	<b>34</b>
<b>4.7.6 Marcha Inadequada</b> .....	<b>35</b>
<b>4.7.7 Reduções Bruscas de Velocidades</b> .....	<b>35</b>
<b>4.7.8 Impregnação por Lubrificantes e Falhas Relacionadas ao Mecanismo da Embreagem em Funcionamento</b> .....	<b>36</b>
4.8 INVESTIGAÇÃO DE FALHAS.....	36
4.9 TABELAS DE DEFEITOS E SOLUÇÕES.....	37
<b>5. ANÁLISES DO MODO E EFEITO DE FALHAS (FMEA)</b> .....	<b>40</b>
5.1 Tipos de FMEAS.....	41
<b>5.1.1 Elementos Básicos das FMEAS</b> .....	<b>42</b>

5.1.2 Ferramentas Analíticas da FMEA .....	44
5.1.2.1 Interpretação do FMEA-Gráfico de Área .....	44
5.2 ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA).....	45
5.2.1 METODOLOGIA .....	46
5.2.2 BENEFÍCIOS.....	46
5.2.3 LIMITAÇÕES .....	46
5.2.4 Sistemas em Série e Paralelo .....	48
5.2.5 Diagrama de Blocos em Série .....	48
5.2.6 Árvore de Falhas em Série.....	49
5.2.7 Diagrama de Blocos em Paralelo .....	49
5.2.8 Árvore de Falhas em Paralelo.....	50
5.2.9 Sistema em Série Paralelo .....	50
<b>6. ANÁLISE DA METODOLOGIA EMPREGADA .....</b>	<b>50</b>
6.1 ANÁLISE DA FMEA.....	51
<b>7. DADOS REFERENTES AOS VEÍCULOS ANALISADO.....</b>	<b>58</b>
7.1 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM CAMPO .....	59
7.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO .....	61
<b>8. RESULTADO .....</b>	<b>63</b>
<b>9. CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As exigências de mercado vêm incentivando as empresas dos mais diversos ramos da manutenção automotiva a reverem suas prioridades. Essa mudança de atitude tem como alicerce dois parâmetros importantes que são: a necessidade de redução de custo e o aumento da confiabilidade e de disponibilidade dos equipamentos. É um momento ou uma oportunidade para pensar, discutir, estudar e implementar processos e metodologias que proporcionem o gerenciamento eficaz da manutenção da frota, sem comprometer a qualidade do resultado final da operação. Esses desafios e a perspectiva de contribuir com a atividade de manutenção de frota motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

### 1.1 MANUTENÇÃO DE FROTA VEICULAR (SISTEMA DE EMBREAGEM)

Segundo o manual da SACHS (2005) uma das maiores fabricantes e fornecedora de embreagens e peças automotivas, o conjunto disco platô e cilindro atuador, em veículos leves devem, por convenção, ter uma autonomia em torno de 90.000 km em uma operação urbana e 150.000 km em uma operação rodoviária. O sistema de acionamento da embreagem acompanha a mesma convenção, mas alguns componentes têm, normalmente, maior durabilidade.

A confiabilidade do equipamento depende de algumas nuances as quais estão elencadas abaixo:

- A forma que o condutor dirige o veículo pode colaborar sobremaneira para a diminuição da vida útil, deste equipamento (embreagem) fazendo com que ocorra uma manutenção corretiva fora dos prazos estabelecidos pelo fabricante. Descansar o pé sobre o pedal de embreagem, manter o veículo em meia embreagem em aclives por longos períodos, são algumas das situações que provocam sobrecarga no conjunto de acionamento, pois neste momento ocorre o deslizamento parcial da embreagem, causando aquecimento e desgaste excessivo dos componentes;
- Depois do pneu, a embreagem é o dispositivo com maior desgaste em um veículo, (tirando os componentes de suspensão, pois na maioria dos casos, são danificados pelas vias públicas, não por fadiga natural). Assim

sendo alguns cuidados devem ser tomados no momento em que o veículo executa a manutenção corretiva do kit de embreagem.

## 2. JUSTIFICATIVA/MOTIVÇÕES

Dados coletados do Sistema de Manutenção Veicular (SMV) desde o ano 2002, na Casa Militar do Governador Diretoria de Transporte mostram que, no transcorrer do tempo algumas anomalias deste componente (embreagem) vinham ocorrendo de uma forma sistemática, que distorcia com o tempo de troca dos componentes e com a qualidade do produto em uso. Após a realização destas análises e efetivamente efetuando a manutenção corretiva dos kits de embreagens dos veículos pertencentes a esta Diretoria de Transporte, foi notado problemas de falhas as quais ocorreram abaixo de uma meta estipulada de quilometragem rodada pela frota, gerando custos adicionais antes do período pré-estabelecido.

Com a renovação da frota, foi constatada na Diretoria em questão que os mesmos problemas de anos anteriores voltaram a ocorrer desta feita com os veículos da marca Chevrolet modelo Astra ano 2009, com os veículos de marca Nissan modelo Sentra ano 2010 e com os veículos de marca Ford modelo Ranger ano 2010, ratificando a análise anteriormente diagnosticada, dando assim, a base necessária para a elaboração deste estudo de caso, que tem como premissa a otimização do funcionamento do kit de embreagem (disco, platô, atuador e bomba). Assim sendo, três métodos merecem uma análise mais criteriosa deste componente: a Confiabilidade, a Disponibilidade e a Manutenibilidade.

De acordo com KARDEC e NASCIF (1999 p.106), confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob as condições especificadas, durante um intervalo de tempo.

Já a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições, de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo médio entre falhas}}{\text{Tempo médio entre falhas} + \text{Tempo médio para reparo}}$$

E ainda, manutenibilidade é a característica de um equipamento permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução do serviço de manutenção. Tendo como base a experiência adquirida nesta área de manutenção, o tempo de indisponibilidade do veículo para efetuar a manutenibilidade do kit de embreagem é de 48h em quarenta, e exige do técnico em manutenção uma atenção especial na montagem.

Deste modo foram elaborados planos de manutenção pautados na confiabilidade e na disponibilidade dos componentes que integram um veículo automotor, buscando com esta atitude diminuir custos com manutenção e consequentemente com locação de veículos. Como os valores orçados para os contratos de manutenção e locação de veículos são anuais estima-se que com a implantação deste projeto consiga-se uma redução de 10% a 13% da verba destinada a manutenção e de 15% a 20% da verba do contrato de locação.

### **3. METODOLOGIA**

A validação para o desenvolvimento desta pesquisa foi obtida através da coleta de dados do Sistema de Manutenção veicular (SMV) implantado na Casa Militar do Governador Diretoria de Transporte. O referido trabalho avaliou a manutenção corretiva prematura dos componentes de uma embreagem de vinte e dois veículos, dos sessenta e quatro que pertencem à frota da Casa Militar. Como 80% das atividades realizadas pela Casa Militar utiliza o transporte rodoviário faz-se necessário manter a frota de veículos em plenas condições de tráfego por longos períodos.

A metodologia utilizada para examinar esses dados foi a Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA), sendo demonstrada através de uma ferramenta gráfica denominada Análise da Árvore de Falhas (FTA), cuja função foi evidenciar os modos e as causas de falhas dos componentes de uma embreagem.

Em seguida foi elaborado em paralelo a construção de uma Matriz de Correlação dos componentes, de uma embreagem com os seus respectivos modos de falhas e consequências com a intuito de ratificar o resultado das análises.

Portanto, após a conclusão e descoberta das causas dos modos de falhas, foram delineadas as diretrizes a serem seguidas para resolução do problema e

buscando, desse modo uma melhor confiabilidade e disponibilidade dos componentes que integram um sistema de embreagem.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 BREVE HISTÓRICO

Na atualidade, as montadoras procuram inovar em acionamentos de sistemas de transmissão para se distinguir dos concorrentes e dar principalmente mais conforto aos motoristas. Mas esta busca por transmissões alternativas surgiu desde que foi produzido o primeiro carro, no final do século XIX. Os primeiros veículos não tinham todas as marchas que temos hoje e andavam através de câmbios de duas marchas, acionados por alavancas ou por um pedal junto aos freios, como no Ford Modelo T. CAMBIOCENTER (2002).

A partir do século XX, o número de marchas na transmissão aumentou para três ou quatro, de acordo com o veículo e assim surgiu a embreagem. O principal projeto que evoluiu nos primeiros anos do surgimento da embreagem, segundo SHAVER (1997), apud DUQUE (p. 23), no ano de 1889 foi à embreagem cônica, que mostrou grande potencial de desenvolvimento. De modo básico, o sistema fundamentou-se em cone de metal com uma cinta de pêlo de camelo montada na sua superfície, funcionando como um tipo de platô ou placa de pressão. Esse material de atrito era então pressionado contra um segundo cone metálico, que também funcionava como o volante do motor através de uma mola axial ao eixo do cone. A Figura 1 abaixo ilustra um sistema de embreagem cônica:

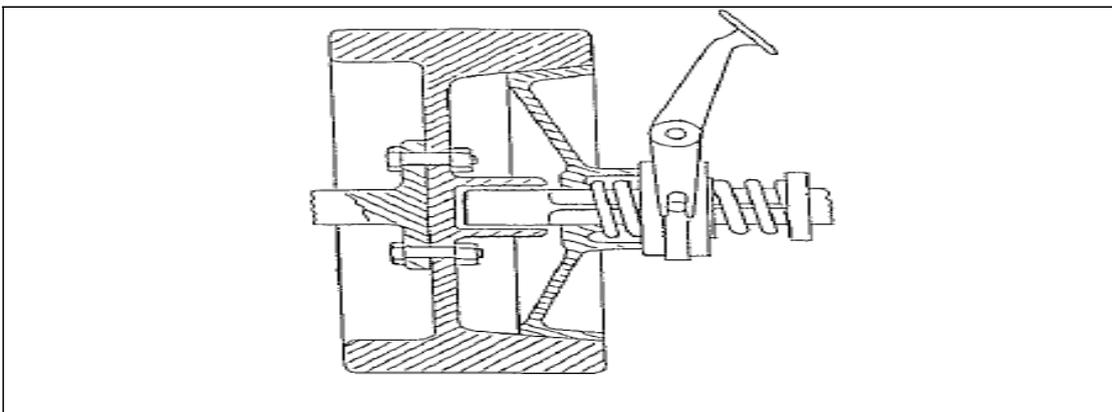


Figura 1: Representação de um sistema de embreagem cônica, (Fonte: Shaver, 1997, p. 3).

Mais tarde o arranjo das molas helicoidais evoluiu primeiramente da montagem axial para um arranjo de várias molas instaladas ao longo de uma circunferência ao redor do eixo de rotação, pressionando uma placa de pressão sobre o material de atrito do disco. Conforme SHAVER (1997, p.44), essa montagem, se mostrou como a melhor opção até um período logo após a Segunda Guerra Mundial devido ao aumento de desempenho nos motores da época. A Figura 2 representa um platô de molas helicoidais:

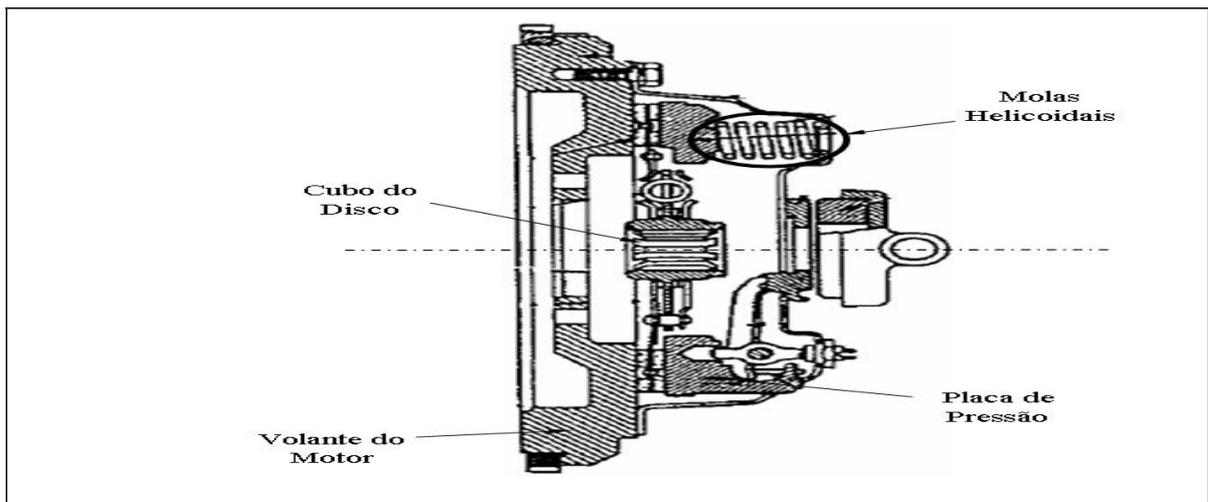


Figura 2: Representação de um platô de molas helicoidais (Fonte: Shaver, 1987, p.44)

Entretanto depois da segunda metade do século XX, iniciou-se o uso em larga escala das embreagens montadas com mola membrana ou diafragma. As embreagens de mola membrana substituíram quase que completamente as de molas helicoidais no emprego veículos de passageiros, caminhões leves e tratores. A Figura 3 esboça uma mola membrana:



Figuras 3. Mola membrana (Fonte: Ancona, 2015)

A figura 4 abaixo mostra componentes de uma embreagem:

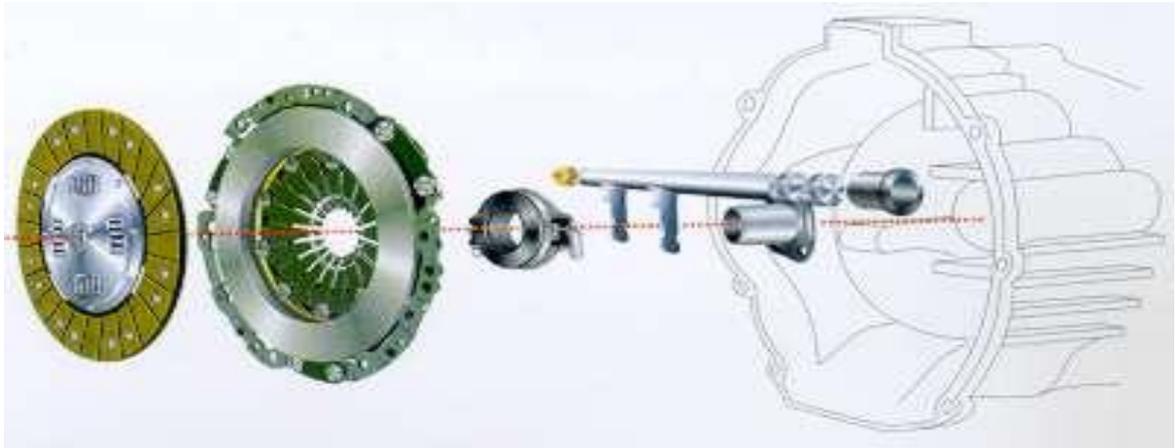


Figura 4: Mola membrana (Fonte: bestcars.uol.com.br, 2015)

Diante dessa evolução o sistema de embreagem teve uma melhoria bastante significativa no seu princípio de funcionamento passando a ser composta dos seguintes componentes: da esquerda para a direita o disco de embreagem, platô com as respectivas molas membranas fixadas nele, um rolamento e o garfo que ligado ao pedal de embreagem efetua o desacoplamento do sistema para que possa ser efetuada as mudanças de marcha no veículo.

#### 4.2 A EMBREAGEM

É um dispositivo mecânico constituído de platô, disco, cilindro atuador e bomba de acionamento da embreagem, montado entre o motor e a caixa de mudanças de marchas, seu acionamento é realizado através do acionamento do pedal que impulsiona o fluido pelo circuito hidráulico promovendo o desacoplamento do conjunto em relação o volante do motor. A função básica de uma embreagem é fazer a ligação entre o motor e a transmissão do veículo, permitindo que em trocas de marchas o acoplamento e o desacoplamento entre ambos sejam feitos de maneira suave, transmitindo integralmente o torque do motor para a transmissão. Contudo, há outra função pouco conhecida: a de atuar como um amortecedor de vibração diminuindo os ruídos gerados no sistema de transmissão.

A imagem abaixo representa o conjunto dos componentes de um sistema de embreagem acoplado ao volante do eixo do virabrequim e a caixa de marcha

através do eixo piloto. Nesta figura o desacoplamento ou afastamento do disco e do platô em relação ao volante do eixo do virabrequim é realizado através de um cabo que acionado pelo o condutor após o mesmo impulsionar o pedal da embreagem. A Figura 5 apresenta uma vista em corte das partes de um kit de embreagem:

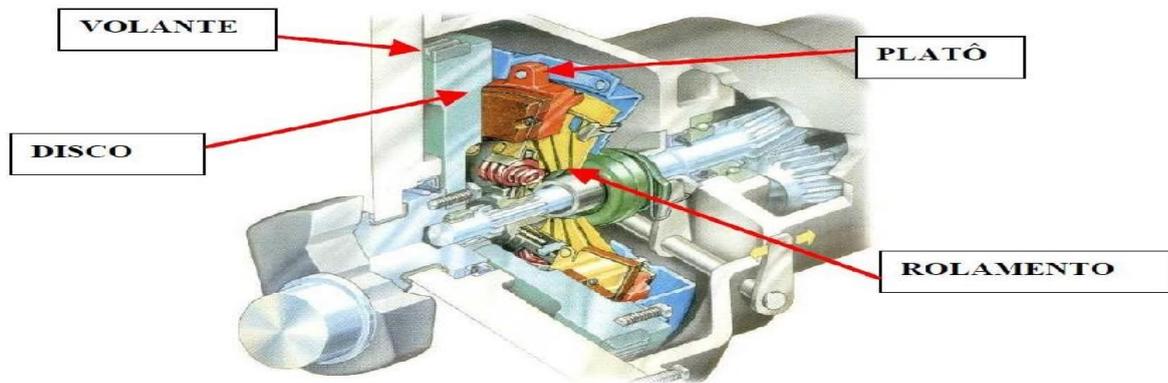


Figura 5: Montagem do kit de embreagem (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

A vista explodida da Figura 6 mostra o conjunto de embreagem com acionamento hidráulico que será o foco deste estudo de caso.

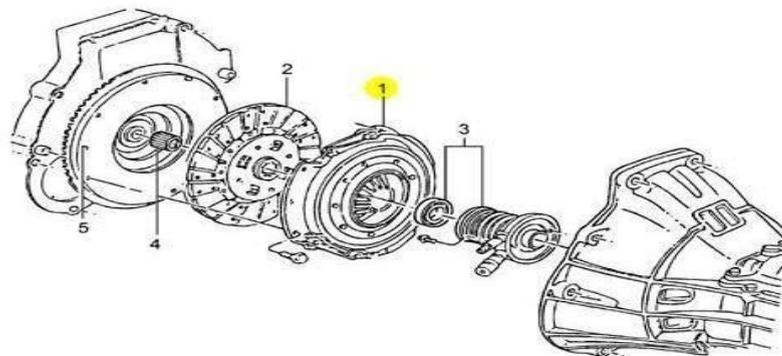


Figura 6: Embreagem por partes (Fonte: Manual de Peças da Ford, 2007)

Estes componentes enumerados na figura acima mais a bomba de acionamento da embreagem serão detalhados de forma individual, no tópico a seguir:

1. Platô
2. Disco
3. Cilindro do Atuador
4. Eixo piloto
5. Volante do Motor

## 6. Bomba de Acionamento da Embreagem.

### 4.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE EMBREAGEM

O porte dos componentes da embreagem depende basicamente do porte do veículo em que será utilizado. Entretanto, cada tipo de embreagem usa cinco componentes principais:

- Placa de pressão (platô).
- Disco de embreagem.
- Volante.
- Bomba de embreagem (cilindro mestre).
- Cilindro atuador.

#### 4.3.1 A Placa de Pressão (platô)

O platô de mola membrana também conhecido por chapéu chinês, executa a seguinte função: ao acionar o pedal de embreagem a pressão oriunda do circuito hidráulico impulsiona o cilindro atuador e este por sua vez, pressiona a mola membrana que está solidaria ao platô, fazendo com que o disco de embreagem se afaste do volante do motor, proporcionando a troca de marcha. Ele é montado em praticamente todos os modernos veículos produzidos atualmente, em virtude da resistência às altas rotações dos motores, aliada à construção compacta, que permite uma reduzida altura da carcaça – o que é fundamental para economia de espaço.

As características construtivas da mola membrana possibilitam trabalhar com cargas iniciais mais baixas e quase constantes durante toda a vida útil do platô, resultando em menor esforço do motorista. A Figura 7 ilustra um platô de mola membrana:



Figura 7: Platô (Fonte: www.oautomovel.blogspot.com)

#### 4.3.1.1 Partes e a Função de Cada Componente do Platô

A Figura 8 abaixo esboça as partes e a função de cada componente de um platô de mola membrana de uma embreagem:



Figura 8: Platô de Mola Membrana (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

- A carcaça deve ser à base do platô, pois é nela que as outras peças irão se fixar e poderão trabalhar;
- A mola de retrocesso é a verdadeira responsável pela pressão exercida entre a placa de pressão e o disco de embreagem;

- A mola membrana e o conjunto alavanca/mola de acionamento têm a função de liberar a pressão exercida sobre o disco pelo platô;
- O anel de articulação (cordão da placa) facilita o acionamento e o desacionamento da mola membrana;
- A placa de pressão é responsável por manter a pressão exercida pelas molas de retrocesso, uniforme em toda a superfície do disco.

#### 4.3.2 O Disco de Embreagem

O disco de embreagem é o principal elemento de ligação do motor à caixa de câmbio. Ele transmite o torque do motor para a caixa de câmbio e, desta para as peças da transmissão possibilitando assim a movimentação do veículo. A Figura 9 demonstra um disco de embreagem:



Figura 9: Disco de Embreagem (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

Na sua forma mais simples um disco de embreagem é composto por:

- A guarnição ou revestimento do disco tem a função de aderir, com o maior atrito possível, ao volante do motor evitando que haja patinação entre ambos. Os revestimentos são, na sua maioria, orgânicos resultando em maior resistência ao desgaste. Os tratores, caminhões especiais e veículos de competição utilizam o revestimento cerâmico/cerametálico, pois são veículos onde a suavidade da partida

não é muito importante. Esses revestimentos possuem elevada resistência à temperatura e desgastes;

- As molas de guarnição auxiliam o platô na tarefa de manter a tensão entre o disco e o volante e absorvem parte das vibrações oriundas do câmbio;
- Molas de torção, ou torcionais, são as que absorvem o tranco causado no primeiro contato entre o volante do motor, em funcionamento, e o disco de embreagem; As molas torção permitem que durante o acoplamento entre motor e câmbio haja uma pequena patinação, permitindo que a igualdade entre a rotação do motor e a do eixo piloto seja atingida suavemente.
- O cubo transmite o torque gerado no motor e é capturado pelos outros componentes do disco para o eixo piloto da transmissão;
- O disco de torção limita a flexão das molas de torção, impedindo que se danifiquem rapidamente;
- Os rebites fixam várias peças do disco de embreagem.

Em um estágio um pouco mais moderno, os discos com amortecedor de torção têm por finalidade eliminar as vibrações provocadas pelas variações de torque do motor, que se transmitem através do platô e do disco para a caixa de câmbio. Outra fonte de ruídos e vibrações são as engrenagens do câmbio, que necessitam de uma folga para o seu correto funcionamento.

É comum no mercado associar ruídos de transmissão às “molas folgadas” do disco de embreagem, o que não é real. Durante a vida útil do disco há uma folga natural de suas molas de torção, o que é aceitável e não prejudica o desempenho de conjunto da embreagem.

### **4.3.3 O Volante do Motor**

O volante do motor é o elemento de ligação entre o motor e o disco de embreagem sendo, portanto um componente essencial do sistema de embreagem. Essa peça é de aço e passa por um processo de balanceamento. Sua função, junto ao platô, é transferir o torque do motor para a caixa de

transmissão, através do disco de embreagem. Portanto, têm-se duas faces de atrito, uma no platô e outra no volante.

#### 4.3.3.1 Volantes em mau estado provocam:

- Patinação;
- Trepidação;
- Dificuldade de engate;
- Desgaste prematuro do kit de embreagem.

O volante do motor no sistema de embreagem garante o atrito necessário com o disco de embreagem para transmissão do torque do motor. A Figura 10 a seguir ilustra um volante de um motor:



Figura 10: Volante do Motor (Fonte: Arquivo da Casa Militar)

#### 4.3.4 Bombas de Embreagem (Cilindro Mestre)

O cilindro mestre é o componente responsável pela pressão no circuito hidráulico permitindo o movimento de desacionamento da embreagem. Esta pressão é transmitida através da força de acionamento do pedal fazendo com que movimente o cilindro atuador que age desacoplando a embreagem do volante do motor. A Figura 11 abaixo mostra uma bomba de embreagem:



Figura 11: Bomba de Embreagem (Fonte: [www.pegapeca.com.br](http://www.pegapeca.com.br))

#### 4.3.5 Cilindro Atuador (Servo de Acionamento)

O cilindro atuador é dotado de um rolamento cuja função é garantir que o platô em rotação não seja danificado pelo sistema de acionamento garantindo uma perfeita interação entre os dois componentes. Este rolamento trabalha com uma pré-carga quando apoiado sobre a mola membrana do platô. Esta pré-carga é gerada pela mola interna dos cilindros atuadores e sua função é evitar ruídos e desgaste indesejáveis na área de contato do rolamento com a mola membrana. VALEOSERVICE (2004).

O cilindro possui dois orifícios em uma das suas extremidades, um conecta a tubulação por onde passa o fluido hidráulico, responsável pelo acionamento/desacionamento do conjunto, já outro é responsável pela sangria do fluido quando existe ar no sistema. VALEOSERVICE (2004). A Figura 12 demonstra um cilindro atuador:



Figura 12: Cilindro atuador (Fonte: Arquivo da Casa Militar)

A Figura 13 abaixo delinea um cilindro atuador fixado na caixa de marcha:



Figura 13: Cilindro atuador fixado na carcaça da caixa de marcha. (Fonte: Arquivo da Casa Militar)

#### 4.4 O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA EMBREAGEM

O sistema de acionamento hidráulico da embreagem consta de um cilindro mestre conectado ao pedal, tubulações e um cilindro atuador. Esse atuador pode ser acoplado a uma articulação ou fazer parte do colar. Nesse caso a pressão hidráulica movimenta uma espécie de sanfona movimentando o mesmo em direção ao desacoplamento do platô.

A transmissão de movimento se dá por atrito. Retirando-se lentamente a pressão exercida pela força de acionamento do pedal, tem-se uma transmissão de movimento gradual, o que garante a suavidade necessária para o correto engrenamento das marchas.

Manter a embreagem parcialmente debreada minimiza a transmissão do torque, o que torna possíveis manobras como, por exemplo, a meia embreagem que mantém o veículo parado em ladeiras sem o uso do freio.

Cabe ressaltar que a meia embreagem deve ser reservada a casos de extrema necessidade, visto que o atrito provocado pelo deslizamento entre o disco e o platô provoca desgaste acentuado em ambos.

Ao se pressionar o pedal, o cilindro atuador através da pressão hidráulica do sistema empurra a mola membrana do platô fazendo com que o conjunto disco e platô se afastem do volante do motor proporcionando ao condutor engrenar as marchas do veículo. Como a caixa de marcha é provida de um conjunto de engrenagens se faz necessário o auxílio de um dispositivo chamado anéis sincronizadores cuja função é igualar as rotações da luvã de engate e da engrenagem a ser engatada para impedir que haja choque, conhecido como arranhada de macha. SANTANA, (2006, p.44)

A Figura 14 abaixo mostra o sistema completo de uma embreagem:

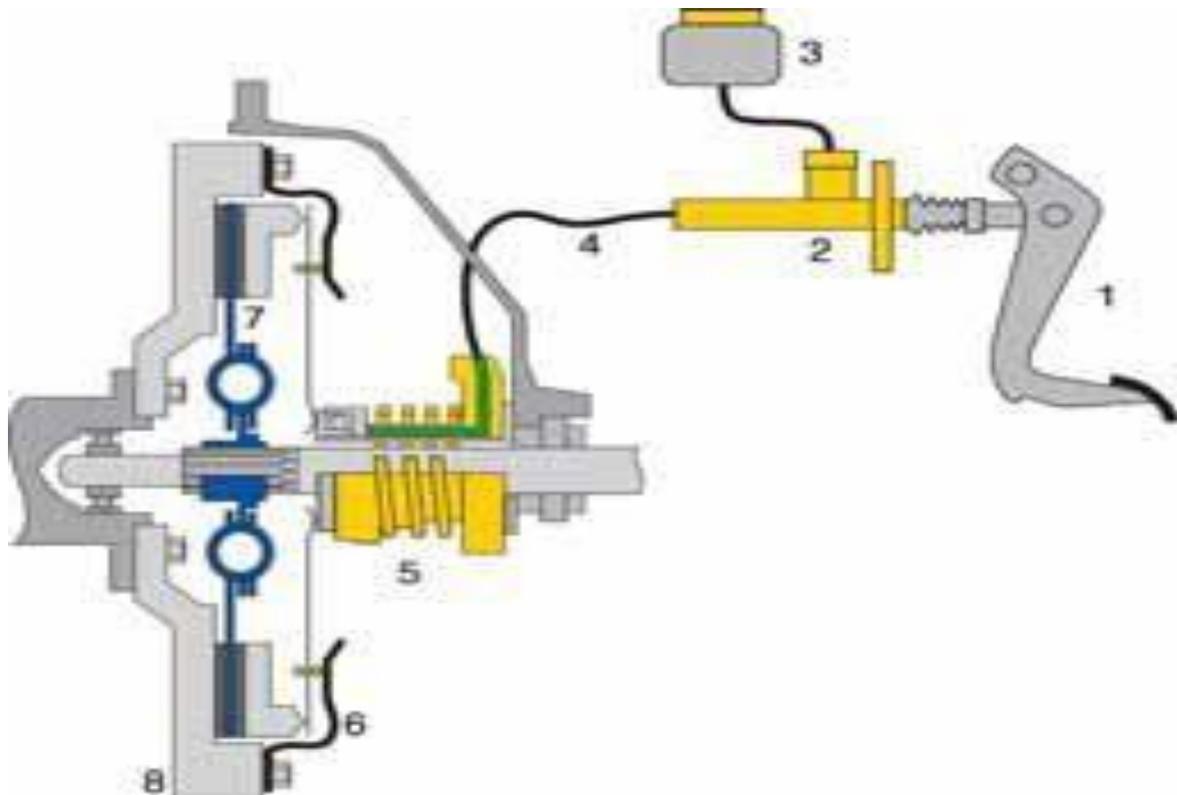


Figura 14: Sistema de Acionamento. (Fonte: Manual da Sachs, 2005 )

1. Pedal.
2. Cilindro Mestre.
3. Reservatório.
4. Tubulação.
5. Atuador Hidráulico.
6. Platô.
7. Disco.
8. Volante do Motor.

O sistema de acionamento hidráulico visualizado na figura acima utiliza fluido de propriedades semelhantes ao fluido de freio. O sistema garante também menores esforços no acionamento do pedal, uma vez que é possível se utilizar a pressão hidráulica para reduzir os esforços aplicados no cilindro mestre de acionamento que fica conectado ao pedal.

#### 4.5 O CONJUNTO DA EMBREAGEM E SUA FINALIDADE

- Transmitir potência progressiva e suave do motor para o câmbio, e deste para as rodas permitindo a partida dos veículos;
- Interromper a transmissão de potência do motor para o câmbio, possibilitando a troca de marchas. SANTANA (2006).

#### 4.6 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES Da EMBREAGEM

De acordo com TEIXEIRA (2004, p.64), a expansão de modelos novos de automotivos normalmente fomenta a busca e a determinação de uma embreagem adequada ao sistema de comando correlato, onde há exigências de arrancadas sem problemas, facilmente dosáveis e livres de vibrações e com forças reduzidas no pedal. Por este motivo, os seguintes critérios devem ser considerados durante o dimensionamento de embreagens:

- **TRANSMISSÃO DO TORQUE DO MOTOR** – Com base ainda em TEIXEIRA (2004, p. 64) o torque do motor deve ser transmitido com segurança mesmo em situações extremas, evitando assim, a “patinação” da embreagem ou falha na sincronização dos movimentos entre motor e câmbio. Para que a embreagem transmita com segurança o torque, esta deve ser dimensionada tomando-se o torque máximo transmitido pelo motor do veículo em desenvolvimento, acrescido de uma porcentagem de segurança de 40%, dependendo de sua utilização. A força de fechamento da embreagem através da “mola membrana” em conjunto com o atrito dos revestimentos do disco durante o processo de acoplamento devem garantir esse torque. A mola membrana é o dispositivo elástico mais imprescindível para o funcionamento da embreagem, pois ela irá garantir a força necessária para o afastamento do disco de embreagem, em relação ao volante do motor.

- **PERFORMANCE NO DESACOPLAMENTO** – Neste processo de acionamento do pedal para liberação do disco de embreagem, e consequente interrupção de movimento, o disco de embreagem deve ficar afastado do volante do motor caso contrario isso dificultará o correto engrenamento na relação de marchas do veículo. O curso em combinação com a força no pedal deve garantir, uma sensação de conforto ao usuário. TEIXEIRA (2004, p. 65)

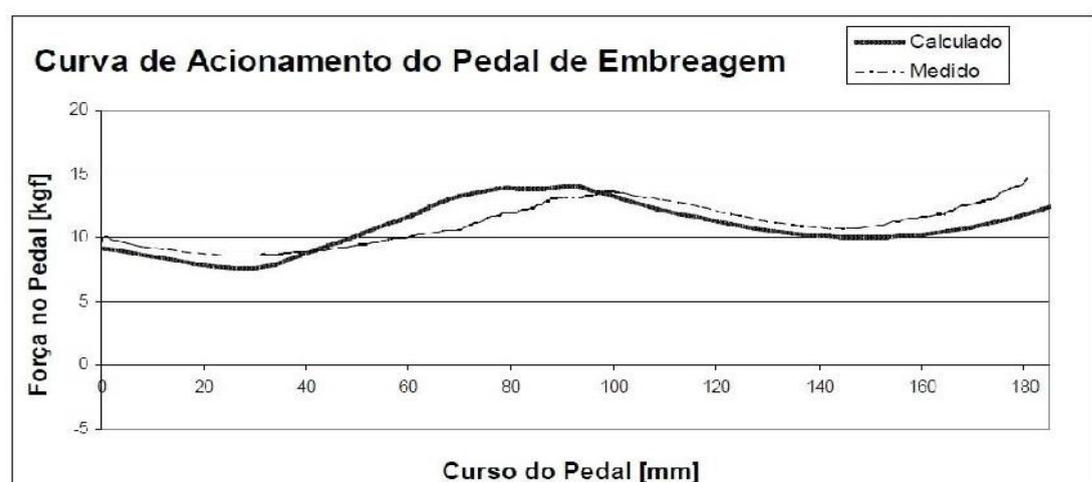
- **PERFORMANCE NO ACOPLAMENTO** – Nesta etapa, o usuário tira gradativamente o pé que está sobre o pedal permitindo o acoplamento da embreagem e, conseqüentemente, a movimentação do veículo. Esta fase exige que tanto o revestimento, quanto o disco de embreagem amortecem este acoplamento de modo a não gerar trepidações. TEIXEIRA (2004, p. 65)

Por fim TEIXEIRA (2004, p. 65) diz que a expansão do desenvolvimento de embreagens nos últimos anos, deu-se mais destaque aos amortecedores de torção. Apesar de que não tenham importância na finalidade básica da embreagem, ou seja, acoplamento e desacoplamento do sistema de transmissão ao motor, têm como tarefa a redução de vibrações torcionais geradas pelo motor, através de seus processos discretos de queima, transmitidos ao sistema de transmissão.

Na força do pedal o sistema de acionamento da embreagem está diretamente relacionado com conforto e ergonomia do veículo.

Quando se fala em veículos de passeio, um acionamento de embreagem pode ser considerado leve se for menor do que 10 kgf e, pesado, se for maior do que 13 kgf. O conforto também está relacionado ao esforço durante o acionamento: curso, manutenção da carga de acionamento e retorno, picos de carga, etc. SHAVER, (1997), apud SANTOS, (2006, p.11)

De acordo com SANTOS (2006, p.67), o acionamento do pedal de embreagem tem o aspecto ilustrado no Gráfico 1 a seguir:



**G**

Gráfico1: Validação da Curva de um pedal. (Fonte: Santos, 2006, p.11).

Observa-se alguma variação entre a curva real e a curva calculada, mas há um fator complicador nesta comparação. A velocidade de acionamento do pedal

de embreagem. Pelo fato de o cálculo não considerar perda de carga na linha hidráulica e variações de pressão e velocidade de escoamento devido aos estrangulamentos, o acionamento real é feito em uma velocidade baixa, de modo que simule um acionamento extremamente lento do sistema e não incorpore as perdas citadas.

Para SANTOS (2006, p.11), o conceito do pedal de embreagem é baseado nas limitações dimensionais e ergonômicas impostas ao veículo. As características ergonômicas básicas são: posição, esforço, distância até o piso do veículo e textura da placa do pedal. O pedal de embreagem é projetado para ser operado pelo pé esquerdo do condutor e deveria estar idealmente, exatamente nesta linha em uma área a frente do operador e abaixo do painel de instrumentos, contudo, nestas condições, haveria pouco espaço para descansar o pé quando não atuando a embreagem. Portanto, esta posição fica próxima à linha central do operador por volta de 80 mm deslocada para a esquerda.

Além do sistema de comando, a mola membrana, responsável pela força de fechamento da embreagem, tem papel essencial na força de pedal, pois esta força é resultante de uma relação de alavancas e da curva de força da mola. Com o uso, o disco de embreagem se desgasta, ou mais precisamente, o seu revestimento, e também suas partes metálicas em contato, o que traz como resultado uma alteração do posicionamento da mola membrana e conseqüentemente, o aumento de força no pedal.

Tais níveis de força devem estar dentro de padrões pré-estabelecidos para não prejudicar o conforto do usuário final.

A vida útil de três componentes determinam o conceito de funcionamento da embreagem: disco, platô e volante. Na condição “desacoplada”, os dois últimos, solidários ao virabrequim do motor, giram e o primeiro acompanha a rotação do eixo piloto. Assim que o pedal de embreagem é solto, a placa de pressão do platô pressiona o disco contra o volante e os três componentes passam a girar ao mesmo tempo, solidários, transmitindo movimento ao eixo piloto, passando à condição “acoplada”. SANTOS (2006, p.23):

Um fato importante ainda segundo SANTOS (2006, p.24) deve ser citado sobre o conjunto platô e disco convencional é que durante sua vida útil, o esforço de acionamento aumenta significativamente. Esta variação pode comprometer alguns projetos de acionamento hidráulico, pois na condição “novo”, é possível

projetar um acionamento dentro dos padrões aceitáveis, mas o mesmo pode não ser aplicável à condição “usado”, pois o esforço máximo aumenta em até 30% do inicial. Na curva contida no Gráfico 2 é possível observar o diferente comportamento com disco novo e disco usado.

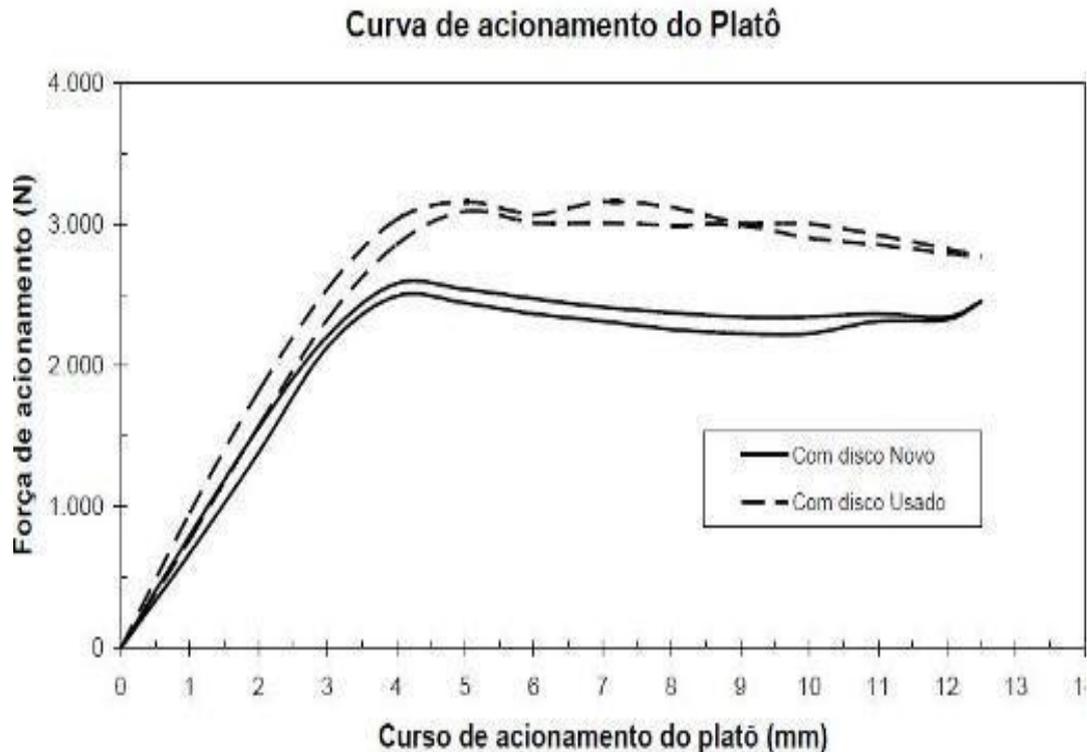


Gráfico 2: Curva de acionamento de um platô. (Fonte: Santos, 2006, p24).

A solicitação principal da embreagem ocorre na “arrancada”, ou seja, quando movimentamos o veículo aplicando a 1ª marcha do câmbio. O trabalho de atrito gerado pela diferença das rotações do motor e do câmbio é transformado em calor quando os revestimentos de embreagem ou lonas atritam com o platô de embreagem e com o volante do motor, de modo a igualarem as rotações. TEIXEIRA (2004, p. 45)

Deste modo, a embreagem deve ser dimensionada para dissipar o calor gerado, a fim de evitar superaquecimento ou desgastes excessivos dos revestimentos que comprometeriam a vida útil da embreagem. Obviamente, os demais componentes da embreagem devem ser dimensionados para atender outras solicitações que ocorrem no veículo. Estes devem possuir uma durabilidade superior à do revestimento, que limita a vida do produto, devido ao seu desgaste em função do número de acoplamentos seguidos de deslizamentos para sincronização dos movimentos.

## 4.7 PROCESSOS DE DESGASTES DAS EMBREAGENS

Existem diferentes causas que originam problemas na embreagem, devido, particularmente, a um uso inadequado do motorista. A seguir estão definidos os pontos de maior incidência, assim como algumas dicas que ajudarão a melhorar a utilização e a vida útil da embreagem: Manual SACHS (2005).

### 4.7.1 Pedal de Embreagem

A Figura 15 demonstra correta forma de uso do pedal da embreagem. A utilização desse instrumento somente deverá ocorrer no momento da troca de marcha. Quando o motorista descansa o pé sobre o pedal, provoca um aquecimento excessivo do sistema e um desgaste prematuro dos componentes.



Figura 15: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

### 4.7.2 Meia-embreagem

A Figura 16 explica como proceder com veículos em aclive/declive, nunca segure o veículo numa rampa utilizando a embreagem como freio por longos períodos. Este hábito causa um desgaste excessivo do disco. Nestas situações, utilize sempre o freio do veículo.

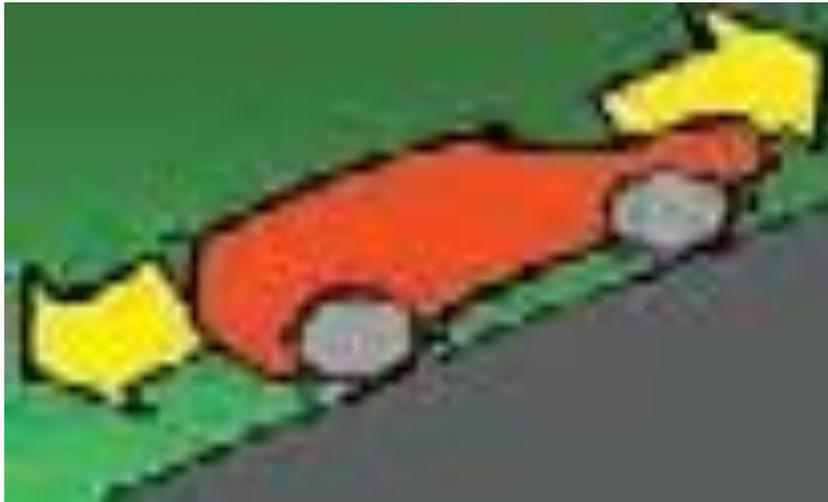


Figura 16: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

### 4.7.3 Excesso de Carga

A Figura 17 evidencia um limite de peso em um veículo. Evite sempre ultrapassar a capacidade de carga especificada pelo fabricante do veículo, porque afetará o funcionamento da embreagem e diminuirá a vida útil da mesma.



Figura 17: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### 4.7.4 Acionamento e Desacionamento

A Figura 18 enfatiza o modo correto de desacoplamento e acoplamento da embreagem. Portanto, evite sempre acionar e desacionar bruscamente a embreagem para aumentar o torque ou alterar a rotação do motor quando se encontrar em uma velocidade compatível. Por essa atitude causa o aumento de pressão no circuito hidráulico, podendo causar vazamentos na bomba de embreagem ou atuador hidráulico.



Figura 18: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### 4.7.5 Arrancada Brusca

A Figura 19 mostra o procedimento adequado no momento em que veículo transmite o torque do motor para as rodas. Não inicie bruscamente a marcha, evitando arrancadas bruscas, pois o aumento na rotação do volante do motor de forma não gradual provoca um desgaste no conjunto da embreagem.

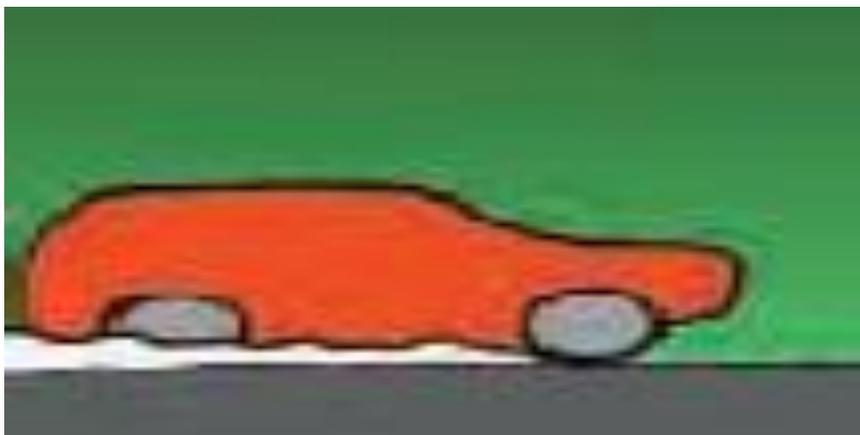


Figura 19: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### 4.7.6 Marcha Inadequada

A Figura 20 ilustra que nunca o condutor deve retirar o veículo da inércia em 2ª marcha, nunca saia com o veículo nesta marcha citada, pois essa atitude fará com que o eixo de virabrequim necessite de uma maior rotação para retirar o veículo da inércia, diminuindo sobremaneira a vida útil do kit de embreagem.



Figura 20: (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### 4.7.7 Reduções Bruscas de Velocidades

A Figura 21 exige do condutor uma atenção especial na redução de velocidade do veículo. Evite reduções bruscas de velocidade, freando ou desacelerando subitamente o motor, essa atitude provoca um desgaste do disco, além de promover uma torção excessiva nas molas do disco.



Figura 21: Redução Brusca de Velocidades (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### **4.7.8 Impregnação por Lubrificantes e Falhas Relacionadas ao Mecanismo da Embreagem em Funcionamento**

De acordo ao manual da SACHS (2005): a impregnação do disco de embreagem por óleo ou graxa poderá ocasionar perda de potência devido à patinação ou vibrações indesejáveis no veículo em função da trepidação. A impregnação pode ocorrer por vários motivos, veja aqui os mais comuns:

- Danos no retentor do volante do motor;
- Falhas nas vedações do sistema de acionamento hidráulico;
- Retentor do eixo piloto em mau estado;
- Manuseio das peças com as mãos impregnadas de óleo ou graxa.

Conforme o Manual da SACHS (2005):

1. Utilize graxa grafitada ao lubrificar o estriado do eixo piloto para evitar escorrimientos em função da força centrífuga exercida pelo motor, o que poderia gerar a contaminação do disco de embreagem;
2. Aplique apenas uma pequena quantidade de graxa no estriado, suficiente para o livre deslizamento do disco;
3. Deslize o disco do início ao fim do estriado. Repita a operação uma ou duas vezes para obter uma melhor distribuição do lubrificante;
4. Retire o excesso de graxa utilizando um pano que não solte fiapos.

#### **4.8 INVESTIGAÇÃO DE FALHAS**

Segundo TEXEIRA (2004, p.28) atualmente a confiabilidade tem se tornado o centro das atenções de muitas corporações, tendo em vista, o crescimento do número de falhas durante o período de garantia, na área automotiva. Portanto, é de suma relevância, desenvolver mecanismos de prevenção capazes de reproduzir e quantificar com precisão efeitos indesejáveis ao produto final, pois quando se fala em otimização de produtos, se refere à criação de projetos que reduzam cada vez mais custos de fabricação, porém sem comprometimento do desempenho esperado pelo cliente quanto à funcionalidade e durabilidade do produto.

Tem-se varias técnicas básicas que auxiliam na determinação da confiabilidade do produto, segundo FREITAS e COLOSIMO (1997, p.30) dentre elas:

- **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis): Análise do Modo e Efeito de Falhas.
- **FTA** (Fault Tree Analysis): Análise da Arvore de Falhas.

#### 4.9 TABELAS DE DEFEITOS E SOLUÇÕES

As tabelas elencadas a seguir constam os defeitos, motivos e soluções referentes ao sistema de embreagem (disco, platô e atuador).

##### 4.9.1 DIFICULDADE DE ENGATE

DEFEITO		MOTIVO	SOLUÇÕES
1.	Disco embreagem empenado (batimento axial fora do especificado)	Deformação ocorrida no transporte ou estoque	Corrigir o empenamento até aproximadamente 0,8 mm
2.	Cubo do disco engripa no eixo piloto	Perfil danificado por batida;	Substitua o disco de embreagem.
		Cubo enferrujou no eixo piloto;	
		Cubo ou eixo piloto com desgaste nas estrias.	
3.	Disco colou no volante do motor ou na placa de pressão do platô.	O veículo permaneceu muito tempo parado sem ter sido debreado.	Limpar as superfícies de atrito do volante e da placa do platô bem como o revestimento do disco com lixa.
4.	Espessura do disco acima do especificado.	Montagem com disco incorreto.	Montar o disco correto.
5.	Defeito no rolamento ou bucha guia do eixo piloto.		Trocar o rolamento.
6.	Embreagem não recua a placa.	Folga excessiva no rolamento de embreagem	Regular a folga conforme especificado.
		Comando do pedal com excesso de folga.	Trocar peças defeituosas.

		Falta de fluido de freio no sistema de acionamento hidráulico.	Adicionar fluido.
		Vazamento no sistema de acionamento hidráulico.	Retirar o vazamento e se necessário providenciar a troca dos cilindros.
		Ar no sistema (no caso de acionamento hidráulico).	Efetuar a sangria no sistema.
		Fixação incorreta do platô	Fixar corretamente o platô e em caso de deformação, substituir o platô.
		Linguetas da mola membrana foram deformadas na montagem do câmbio no motor.	Substituir o platô.

Tabela 1: Dificuldade Engate (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

#### 4.9.2 EMBREAGEM TREPIDA

ITEM	DEFEITO	MOTIVO	SOLUÇÕES
1.	Revestimento do disco contaminado com óleo ou graxa.	Vazamento de óleo nos retentores do motor ou câmbio.	Substituir o disco.
		Excesso de lubrificação no eixo piloto	
2.	Embreagem Enroscando.	Cabo de embreagem emperrado.	Reparar as peças danificadas e, se for o caso, substituí-las
		Cilindros de acionamento hidráulico desgastados	
		Tubo guia do rolamento desgastado.	
3.	Coxins do Motor e Câmbio.	Coxins deslocados, fadigados ou quebrados	Montar corretamente ou substituí-los
4.	Paralelismo irregular da placa de pressão do platô.	Deformação na carcaça do platô ocorrida na montagem do veículo.	Trocar platô.
		Deformação da mola de retrocesso.	
5.	Motor desregulado.	Regulagem do carburador, ignição ou injeção.	Efetuar regulagem.

Tabela 2: Embreagem Trepida (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

### 4.9.3 EMBREAGEM PATINA

ITEM	DEFEITO	MOTIVO	SOLUÇÕES
1.	Desgaste Excessivo das guarnições do disco .	Desgaste natural por tempo de uso.	Troca do conjunto de embreagem
		Embreagem usada de maneira incorreta.	
2.	Guarnição Contaminada com óleo	Vazamento nos retentores do motor ou câmbio.	Eliminar os Eventuais Vazamentos.
		Excesso de graxa na lubrificação do eixo piloto.	Eliminar o Excesso de lubrificação.
		Vazamento de graxa no rolamento de embreagem	Substituir o disco
3.	Embreagem Trabalhando parcialmente debreada enforcada	Não há folga entre o rolamento de embreagem e a mola membrana.	Regular a folga conforme especificado
		Travamento no sistema de acionamento ou pedaleira dificultando o retorno da embreagem.	Eliminar as causas do travamento, executar lubrificação do sistema
		Cilindro atuador do sistema hidráulico não retorna.	Substituir o cilindro atuador.
4.	Base de Fixação do Volante do motor mais alta que o especificado	Volante do motor usinado somente na área de contato com o disco.	Usinar Somente a área de fixação do Platô ou trocar o volante
5.	Super Aquecimento da embreagem.	Uso abusivo/indevido. Idem ítem 3.	Trocar Conjunto.
6.	Superfície do Volante em más condições.	Superfície espelhada ou com rachaduras.	Usinar ou trocar o volante do motor.

Tabela 3: Embreagem Patina Fonte: (Manual da Sachs, 2005)

### 4.9.4 EMBREAGEM COM RUÍDO

ITEM	DEFEITO	MOTIVO	SOLUÇÕES
1.	Aplicação incorreta do disco para o veículo.	Sistema de amortecimento não compatível.	Aplicar o disco correto.
2.	Rolamento ou bucha guia do eixo piloto.	Travamento ou falta do mesmo.	Montar um novo rolamento ou bucha.
3.	Rolamento de embreagem engripado.	Rolamento defeituoso ou seco.	Substituir o rolamento.
4.	Sistema de acionamento gasto ou quebrado.	Uso abusivo/indevido	Substituir o disco.

Tabela 4: Embreagem Com Ruído (Fonte: Manual da Sachs, 2005)

## 5. ANÁLISES DO MODO E EFEITO DE FALHAS (FMEA)

De acordo LAFRAIA (2001, p.101), a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e ou antecipar a(s) causa(s) e efeitos de cada modo de falha de um sistema ou produto. A análise resulta em ações corretivas, classificadas de acordo com sua criticidade, para eliminar ou compensar os modos de falhas e seus efeitos. A principal característica da FMEA é ser um processo indutivo, “de baixo para cima” (bottom-up process), extensivamente usada no projeto Apollo nos anos 60.

Já para ALAN e KARDEC (2009, p.127), a Análise de Modos e Efeitos (FMEA) é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. A FMEA é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações para ações preventivas.

Conforme PALADY (1997, p.5), A Análise dos Modos de Falhas e Efeitos é uma técnica que oferece três funções distintas:

- 1) A FMEA é uma ferramenta para prognósticos de problemas.
- 2) A FMEA é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos e revisados.
- 3) A FMEA é o diário do projeto, processos ou serviços.

Como um diário, a FMEA inicia-se na concepção do projeto, processo ou serviço, e se mantém através da vida de mercado do produto. Qualquer modificação durante esse período, que afete a qualidade ou a confiabilidade do produto, deve ser avaliada e documentada na FMEA.

A FMEA começou a ser utilizado no fim dos anos 50 com a finalidade da análise crítica de projetos de produto e de processo, tendo como objetivo a identificação de todos os modos de falha em potencial dentro de um projeto, todas as probabilidades de falhas catastróficas e críticas, de forma a eliminá-las ou atenuá-las durante a fase de desenvolvimento do produto. FREITAS e COLOSIMO (1997, p.32):

TEIXEIRA ressalta ainda que (2004, p. 29), a FMEA inicia-se com a listagem dos componentes do produto e suas respectivas funções em uma tabela, em seguida para cada função são indicados possíveis modos de falha, efeitos e causas, conforme exemplo da Tabela a seguir:

COMPONENTE	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA
Ponta de Eixo	Suportar Roda	Fratura	Perda de Controle do Veículo	Material Inadequado

Tabela 5: Listagem de Componentes (Fonte: Adaptado de Palady, 1997)

Após a realização desta análise criteriosa será possível apontar o sentido das modificações, ainda na etapa da criação do projeto e dos métodos para controle dos componentes e suas funções, no processo produtivo a fim de acabar com possíveis modos de falha.

TEIXEIRA (2004, p. 29), destaca também: que a FMEA é um método ininterrupto, mesmo durante o ciclo de elaboração do produto, o mesmo deve ser frequentemente reformulado, adicionando-se informações de campo, ou mesmo pela própria mudança de algum item do produto, para avaliação do grau de criticidade, pois na FMEA, são adicionados índices para priorizar a importância de um determinado item. Estes podem ser de Ocorrência (probabilidade de ocorrência de uma causa de falha), Gravidade (grau de gravidade do efeito da falha), Detecção (probabilidade da falha ser detectada antes de chegar ao cliente) e Índice de Risco (priorização na tomada de decisões), sendo que este nada mais é que o produto dos outros três índices.  $NPR = \text{ocorrência} \times \text{gravidade} \times \text{detecção}$ .

Essa metodologia torna-se mais eficiente quando utilizado em um trabalho de equipe; no entanto, a FMEA pode e tem sido realizada como esforço individual. Apesar de que o custo de desenvolvimento da FMEA seja muito inferior quando ele é feito por um indivíduo, as chances de melhor identificação e prevenção dos modos de falha potenciais é consideravelmente menor e o retorno de qualidade juntamente com confiabilidade talvez não exceda o custo de desenvolvimento e manutenção da FMEA.

### 5.1 Tipos de FMEAS

Dois tipos distintos da FMEA surgiram desde o seu desenvolvimento em meados da década de 60, Conforme PALADY (1997, p.6)

1. **FMEA de Projeto** (DFMEA—design Failure Modes and Effects Analysis), e
2. **FMEA de processo** (PFMEA – Process Failure Modes and Effects Analysis). Dentro desses dois tipos surgiram diversas versões e variações da FMEA

e dos formulários de FMEA, que compartilham os mesmos objetivos e exigem elementos básicos comuns para alcançar esses objetivos.

A diferença entre FMEA de projeto e FMEA de processo está nos objetivos. Cada uma delas tem dois objetivos bem diferentes, que podem ser identificados através de duas perguntas. No caso da FMEA de projeto, a equipe deve perguntar: PALADY (1997, p.7).

- Como esse projeto pode deixar de fazer o que deve fazer?
- O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais de projeto? No caso da FMEA de processo, a pergunta é diferente:

- Como esse processo pode deixar de fazer o que deve fazer?
- O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais de processo?

São dois objetivos muito diferentes que devem ser buscados em FMEAs independentes, a fim de impedir o comprometimento dos objetivos do projeto em detrimento dos objetivos de processo e vice-versa. Salientando ainda que, alguns modos de falhas de projeto podem ser causados por medidas adotadas durante o processo e alguns modos de falhas do processo podem ser causados pelo projeto.

### 5.1.1 Elementos Básicos das FMEAS

De acordo a PALADY (1997, p.8), todas as variações da FMEA devem incluir cinco elementos básicos, a fim de garantir sua eficácia ou seu sucesso. Se um dos elementos exibidos na figura 18 for excluído, a contribuição final da FMEA em termos de qualidade/confiabilidade provavelmente será muito pequena, ou nenhuma, ou seja, o investimento inicial no desenvolvimento da FMEA talvez não resulte em um retorno do investimento sob a forma de redução de custo de falha.

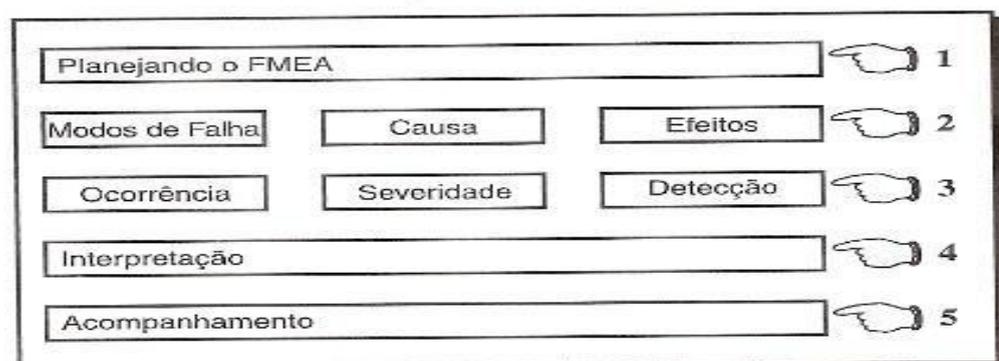


Figura 22: Planejando as FMEAs. (adaptado: Palady 1997, p.8)

Os cinco elementos da Figura 22 acima são definidos abaixo:

1. Selecionar o projeto de FMEA com maior potencial de retorno de qualidade e confiabilidade para a organização e seus clientes.
2. Perguntar e responder às três seguintes perguntas:
  - Como pode falhar?
  - Por que falha?
  - O que acontece quando falha?
3. Implementar um esquema para identificar os modos de falha mais importantes, a fim de trabalhar neles ou melhorá-los. Normalmente, o esquema mais comum é quantificar e classificar cada uma das três categorias a seguir (ocorrência, severidade e detecção). PALADY (1997, p.8).

Para o elemento dessa FMEA existem duas abordagens e isso pode criar uma certa confusão. Uma abordagem é avaliar a ocorrência e a detecção de cada causa que contribui para o modo de falha. Já a outra é avaliar a ocorrência e a detecção do modo de falha. Independente da abordagem utilizada pela equipe da FMEA, as conclusões devem ser as mesmas.

4. Priorizar ou selecionar os modos de falhas potenciais que serão tratados em primeiro lugar. A abordagem tradicional utiliza o Grau de Prioridade de Risco (RPN – Número de Prioridade e Risco) ou índice de Importância (Cr – Número Crítico) para priorizar os modos de falha. O RPN pode levar a conclusões incorretas. Deve-se ter cuidado ao se propor a resolver um problema usando apenas uma ferramenta.
5. O último elemento é o Acompanhamento. A construção e análise da FMEA exige a utilização de outras ferramentas de suporte à qualidade e confiabilidade. Geralmente, os dados devem ser analisados utilizando-se métodos estatísticos antes de preencher uma das colunas FMEA ou aprovar as recomendações para medidas corretivas. Se não houver capacidade de utilizar essas ferramentas de suporte ou compromisso com acompanhamento dentro da equipe, pouquíssimos ou nenhum benefício pode ser esperado da FMEA, além de produzir um formulário para auditoria.

## 5.1.2 Ferramentas Analíticas da FMEA

### 5.1.2.1 Interpretação do FMEA-Gráfico de Área

Com base em PALADY (1997, p.228), o gráfico de Área é um novo desenvolvimento usado para separar os modos de falha identificados em três categorias: 1) Alta Prioridade, 2) Prioridade Média e 3) Baixa Prioridade. A vantagem desses gráficos sobre o método tradicional de avaliar o risco do modo de falha é que o gráfico de área avalia o modo de falha utilizando apenas as classificações de severidade e ocorrência proativas. O exemplo abaixo é de um Gráfico de área para interpretar o FMEA:

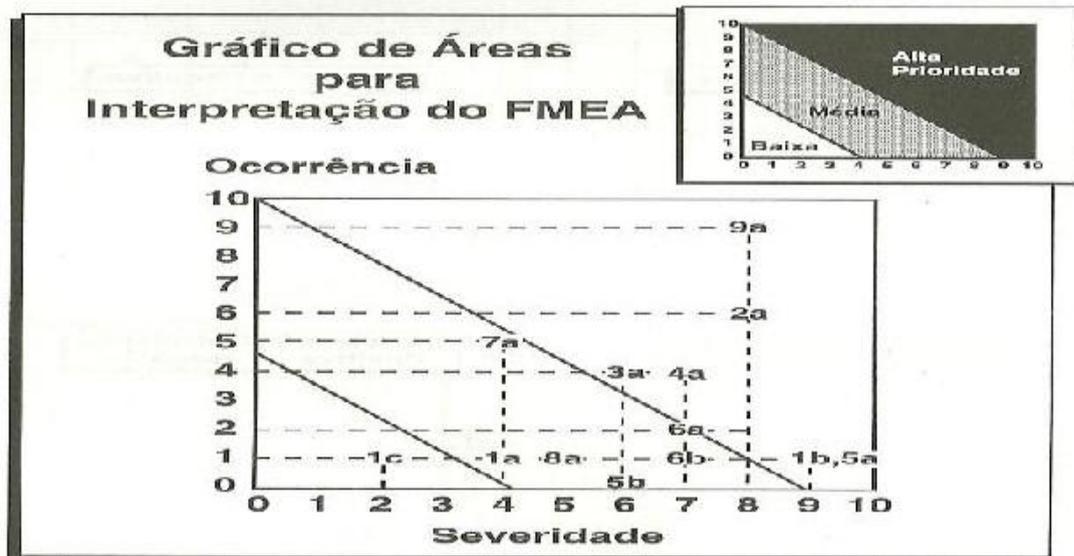


Gráfico 3: Área para Interpretação da FMEA (Fonte: Palady 1997, p.228).

Ainda segundo PALADY (1997, p.229), a análise da árvore de falhas é uma ferramenta gráfica que proporciona uma avaliação profunda de uma única falha ou modo de falha, conhecida como “evento principal”. Podem-se construir árvores de falhas para modos de falhas específicos identificados na FMEA com alta severidade ou alta ocorrência. A construção da árvore de falhas começa com a identificação do evento principal. As causas que levam ao evento principal aparecem abaixo desse evento e são então conectadas com linhas como as apresentadas na Figura 23:

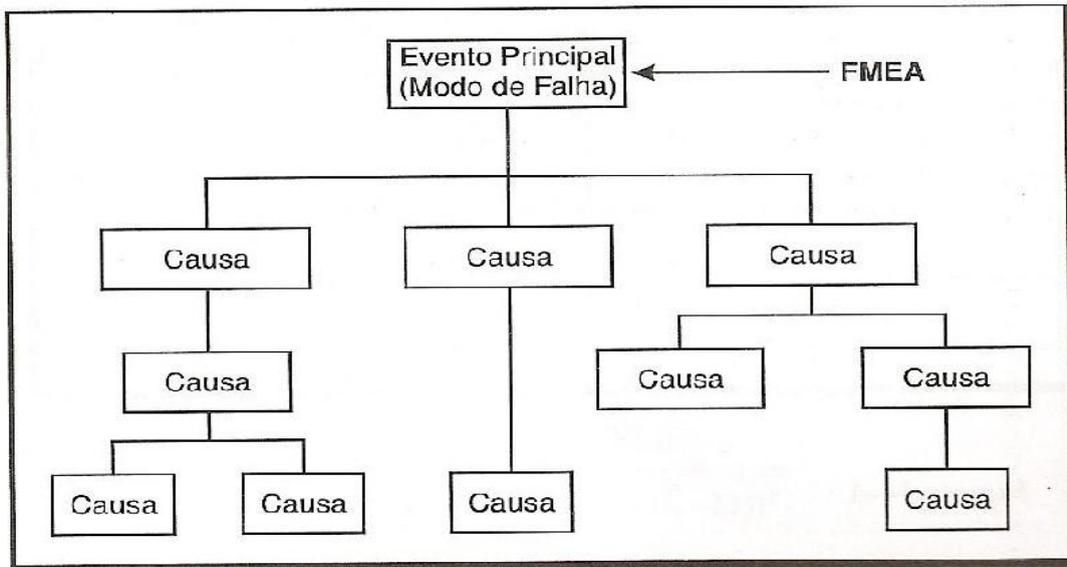


Figura 23: Evento Principal (Fonte: Palady 1997, p. 229)

Algumas vezes, as causas podem ser geradas por outras causas básicas; se assim for, essas causas fundamentais são identificadas e listadas abaixo do primeiro nível de causas e conectadas por linhas. A árvore de falhas pode ter vários níveis de causas que acabam levando ao evento principal. A lógica ou a forma na qual essas causas se combinam para gerar o evento principal também podem ser representadas de falhas. Essa lógica pode ser usada para prever ou estimar a probabilidade de ocorrência do modo de falha ou de uma causa na FMEA.

## 5.2 ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA)

De acordo a LAFRAIA (2001, p.126), a Análise de Árvores de Falhas (AAF) ou Failure TREE Analysis (FTA) pode ser uma análise do tipo qualitativa. Na análise qualitativa, o objetivo pode ser determinar as Causas Básicas de um evento ou a sequência que levou ao mesmo. Na análise quantitativa, o objetivo é determinar a probabilidade de ocorrência do evento. A Análise de Árvores de Falhas pode ser aplicada a qualquer evento indesejado, especialmente eventos e/ou sistema complexo.

O objetivo da Análise de Árvores de Falhas é obtenção, através de um diagrama lógico do conjunto mínimo de causas (falhas) que levaram ao evento em estudo, Além disto, é possível se obter a probabilidade da ocorrência do evento indesejado.

### 5.2.1 METODOLOGIA

O princípio básico da metodologia consiste dos seguintes passos:

1. Seleção do evento topo.
2. Determinação dos fatores contribuintes.
3. Diagramação lógica.
4. Simplificação booleana.
5. Aplicação dos dados.
6. Determinação da probabilidade de ocorrência.

Esta metodologia permite a utilização dos dados de confiabilidade dos componentes, inclusive a inclusão da probabilidade de erros humanos. É um método dedutivo e estruturado. LAFRAIA (2001, 127).

### 5.2.2 BENEFÍCIOS

Cita-se abaixo os principais benefícios da Análise de Árvore de Falhas:

1. Conhecimento aprofundado do sistema e de sua confiabilidade.
2. Detecção de falhas singulares (aquelas cuja ocorrência leva ao evento topo) desencadeadoras de eventos catastróficos e da sequência de eventos mais prováveis.
  - Possibilita decisões de tratamento de riscos baseados em dados quantitativos.
  - Pode ser realizada em diferentes níveis de complexidade.
  - Ótimos resultados podem ser conseguidos apenas com a forma qualitativa.
  - Complementa-se com a Análise de Modo de Falhas e Efeitos.
  - Permite a determinação de partes críticas para teste de produtos.
  - Excelente ferramenta de comunicação visual.
  - Ajuda da determinação da causa de falhas e possibilita verificar a interação entre as causas. LAFRAIA (2001, 127).

### 5.2.3 LIMITAÇÕES

- Não permite determinação direta de itens críticos
- Não permite determinação visualização da técnica de validação
- Não permite execução de análise de criticidade. LAFRAIA (2001, 127).

Do ponto de vista de BILLINTON e ALLAN (1987, p.62), essencialmente, o processo FTA podem ter ligações em “série” e/ou em “paralelo”. Os componentes são ditos em série do ponto de vista da confiabilidade se todos precisam trabalhar para o sucesso do sistema, caso contrário, se um falhar, o sistema como um todo falha. No evento dos sistemas em paralelo, é imprescindível que um dos componentes esteja trabalhando para o sucesso do sistema, portanto a falha deste só irá ocorrer se todos os componentes falharem. Um sistema em série é chamado de “não redundante”, enquanto sistema em paralelo, de “redundante”.

TEIXEIRA (2004, p. 30), cita como exemplo de sistema em série tem-se os quatro pneus de um automóvel de passeio, pois basta um falhar para o carro perder estabilidade. No caso das carretas dos caminhões, os pneus estão em paralelo, pois além de haver vários eixos, há dois pneus em cada extremidade destes, o que diminui em muito a probabilidade de falha do sistema, no caso, perda de estabilidade, ou seja, os sistemas em paralelos ou redundantes aumentam a confiabilidade do sistema.

TEIXEIRA (2004, p. 30), salienta também que a desvantagem dos sistemas redundantes é o alto custo, porém, em certos casos este se torna desprezível quando o enfoque é segurança, já que no caso de aviões, por exemplo, é praticamente impossível realizar reparos e substituições de componentes em vôo e vidas humanas estariam em jogo, se não fossem os vários componentes para executar a mesma função, como as turbinas.

Com base HELMAN e ANDERY (1995, p.70), na Árvore de Falhas (FTA), o símbolo utilizado para eventos em paralelo é uma “meia lua”, que representa a porta lógica “E”, onde o evento de saída desta, só ocorrerá se todos os de entrada ocorrer. Já o símbolo para eventos em série é uma lua em forma de “quartominguante”, que representa a porta lógica “OU”, em que o evento de saída desta, se um dos eventos de entrada acontecer.

Segundo REAY e ANDREWS (2002, p.45), dependendo da complexidade do sistema, a árvore de falhas pode ser extensa, mas também pode ser reduzida utilizando-se uma técnica chamada Redução de Faunet, a qual reduz a árvore para uma forma mínima, eliminando os “ruídos” do sistema, porém sem alterar a lógica. Sua aplicação decresce em média 50% o tamanho da árvore e consiste

basicamente em eliminar eventos repetidos no sistema que só atrapalham o entendimento.

Conforme HELMAN e ANDERY (1995, p.137), as falhas de um sistema, podem ser representadas graficamente além da Árvore de Falhas, pelo Diagrama de Blocos de Confiabilidade, sendo que este, não descreve minuciosamente as falhas e seu desencadeamento como no FTA, e sim apenas a ligação entre os componentes, os quais são representados por blocos.

O objetivo é calcular a confiabilidade do sistema através da identificação das confiabilidades individuais dos componentes, os quais são dotados de funções diferentes e que como no FTA, podem estar em série ou em paralelo.

#### 5.2.4 Sistemas em Série e Paralelo

Se um dispositivo tem confiabilidade igual a “1”, isto significa que tem 100% de chance de não falhar. Assim, para um sistema constituído por três componentes em série, cujos valores de confiabilidade individuais são conhecidos, e iguais, com valor 0,9 temos o seguinte valor para a confiabilidade ( R ) e probabilidade de falha ( F ) do sistema:

$$R = R_1 \times R_2 \times R_3 = 0,9 \times 0,9 \times 0,9 = 0,73 \text{ ou } 73\% \quad F = 1 - R = 1 - 0,73 = 0,27 \text{ ou } 27\%$$

#### 5.2.5 Diagrama de Blocos em Série

Com base em LAFRAIA (2001, p. 86), os componentes são considerados em serie quando a falha de qualquer um deles provocar a falha de todo o sistema, ficando completamente inoperante. Logo, o funcionamento do sistema dependerá da plena capacidade de cada componente. Sua representação é dada na figura abaixo, em analogia com os circuitos elétricos:

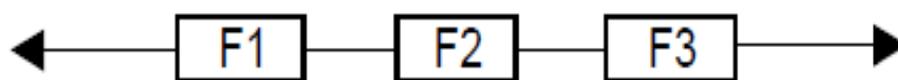


Figura 24: Diagrama Blocos em Série (Fonte: Teixeira, 2004, p. 31)

### 5.2.6 Árvore de Falhas em Série

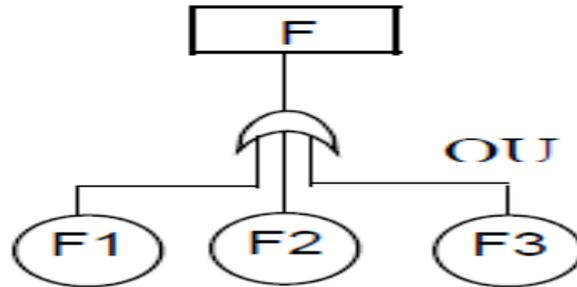


Figura 25: Árvore de Falhas em Série (Fonte: Teixeira, 2004, p. 32)

Se estes mesmos componentes estivessem em paralelo, a confiabilidade aumentaria consideravelmente, com o declínio da probabilidade de falha como demonstra o cálculo:

$$R = R1 + R2 + R3 - (R1 \times R2 + R1 \times R3 + R2 \times R3) + R1 \times R2 \times R3 = 0,999 \text{ ou } 99,9\% \quad F = 1 - R = 1 - 0,999 = 0,001 \text{ ou } 0,1\%$$

### 5.2.7 Diagrama de Blocos em Paralelo

Ainda de acordo a LAFRAIA (2001, p. 87), os componentes serão considerados em paralelo quando a falha do sistema só ocorrer quando todos os componentes falharem ou o sistema continuar operando. Neste sistema, a confiabilidade atingirá altos valores. O sistema poderá ser representado pela figura a seguir:

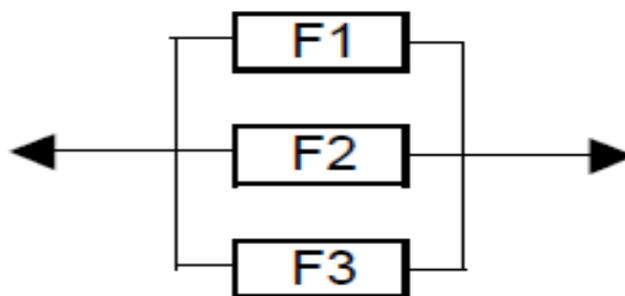


Figura 26: Diagrama Blocos em Paralelo (Fonte: Teixeira, 2004, p. 32)

### 5.2.8 Árvore de Falhas em Paralelo

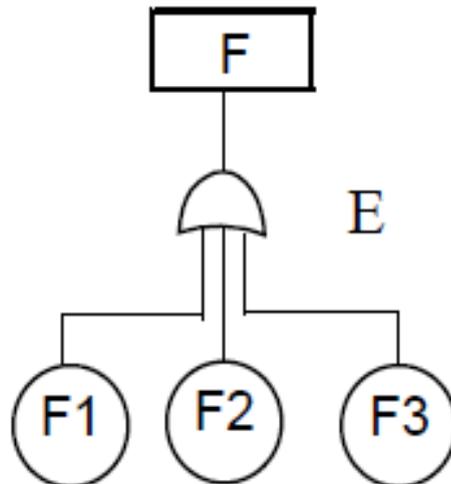


Figura 27: Árvore de Falhas em Paralelo (Fonte: Teixeira, 2004, p. 32)

### 5.2.9 Sistema em Série Paralelo

Por fim LAFRAIA (2001, p. 90) diz que em um sistema em série, se um componente falhar, toda a linha pára. Isto já não ocorre em sistemas em paralelo, aonde o sistema somente falhará se todos os componentes falharem.

## 6. ANÁLISE DA METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é um instrumento que busca, em princípio, evitar por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhorias, a ocorrência de falhas que poderão surgir no projeto do produto ou no ciclo de vida de um sistema. ABEPRO, (2007).

O emprego dessa técnica de análise de falhas admite a identificação dos possíveis modos de falhas e suas respectivas causas, bem como os seus efeitos, permitindo assim, agir sobre itens de um sistema de forma a diminuir e/ou eliminar a probabilidade de tais falhas virem a ocorrer, aumentando a confiabilidade do sistema e contribuindo para uma manutenção mais eficiente. ABEPRO, (2007).

A ferramenta FMEA é uma das técnicas de baixo risco para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos. Sua aplicação está baseada nos seguintes princípios:

- Para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Para diminuir a probabilidade de falhas potenciais (ou seja, que ainda não tenham ocorrido) em produtos/processos já em operação;
- Para aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram.

Assim sendo, a aplicação da metodologia FMEA, é importante porque pode proporcionar para a empresa:

- Uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas os produtos/processos;
- Melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- Ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua);
- Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas.

Diante dos fatos expostos a FMEA, demonstrou-se ser a melhor técnica empregada neste estudo de caso.

## 6.1 ANÁLISE DA FMEA

O sistema de embreagem veicular, abordado neste estudo de caso executa sua função em ambiente fechado, localizado entre parte posterior do motor a combustão e a caixa de mudanças de marcha, o que torna difícil a detecção imediata da causa de falha, uma vez que o profissional da área de manutenção não consegue visualizar os componentes do sistema sem que seja desacoplada a junção entre o motor e a carcaça da caixa de marcha. Desta forma, por ser um sistema complexo torna-se necessário uma análise qualitativa de cada componente do sistema, com o objetivo de determinar as causas de falha.

A seguir será demonstrada a Árvore de Falhas de todo o sistema que integra uma embreagem veicular com os possíveis modos e causas de falhas:

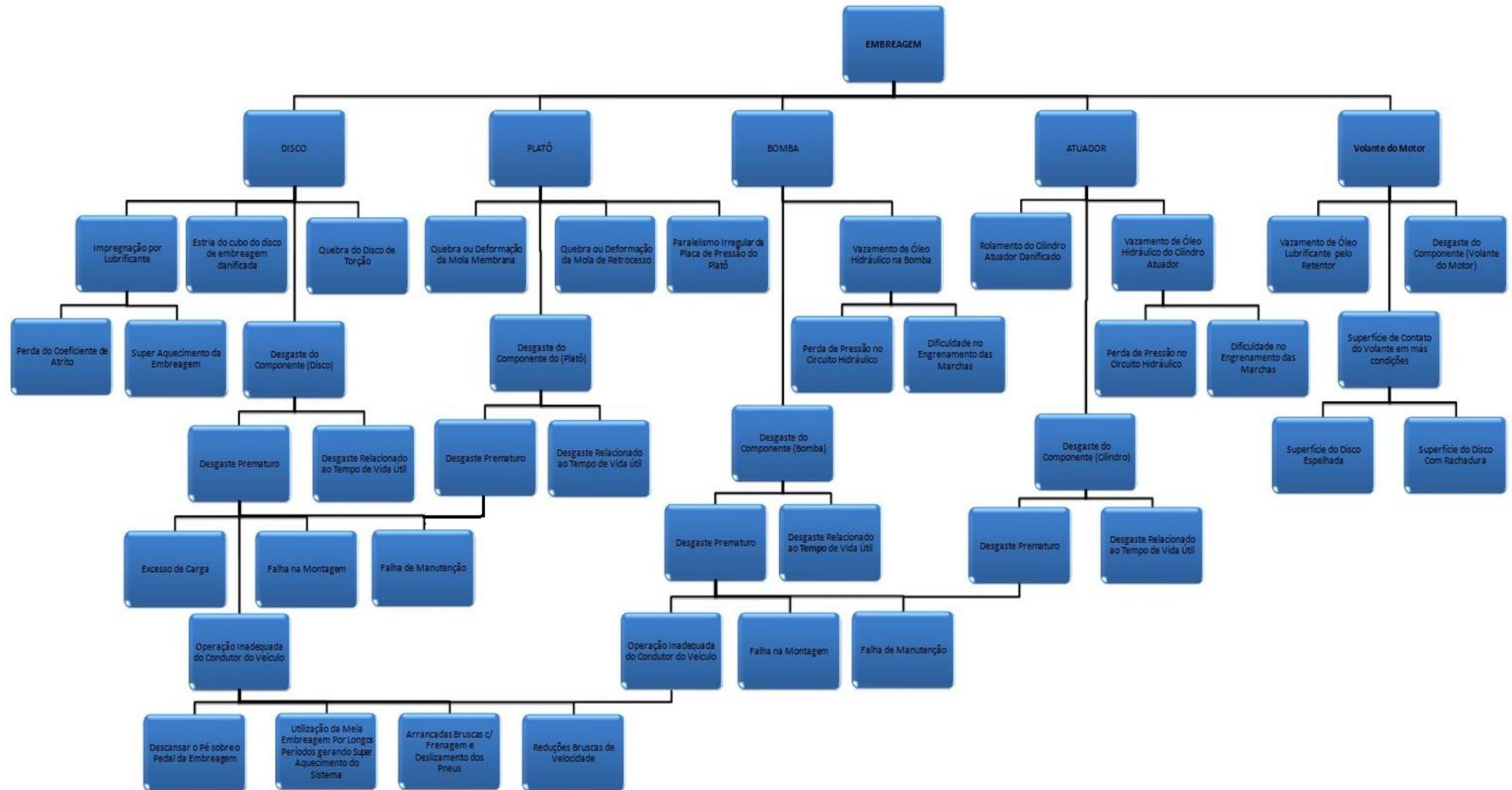


Figura 28: FMEA para o Evento Principal Embreagem Geral. (Fonte: Adaptado pelo autor)

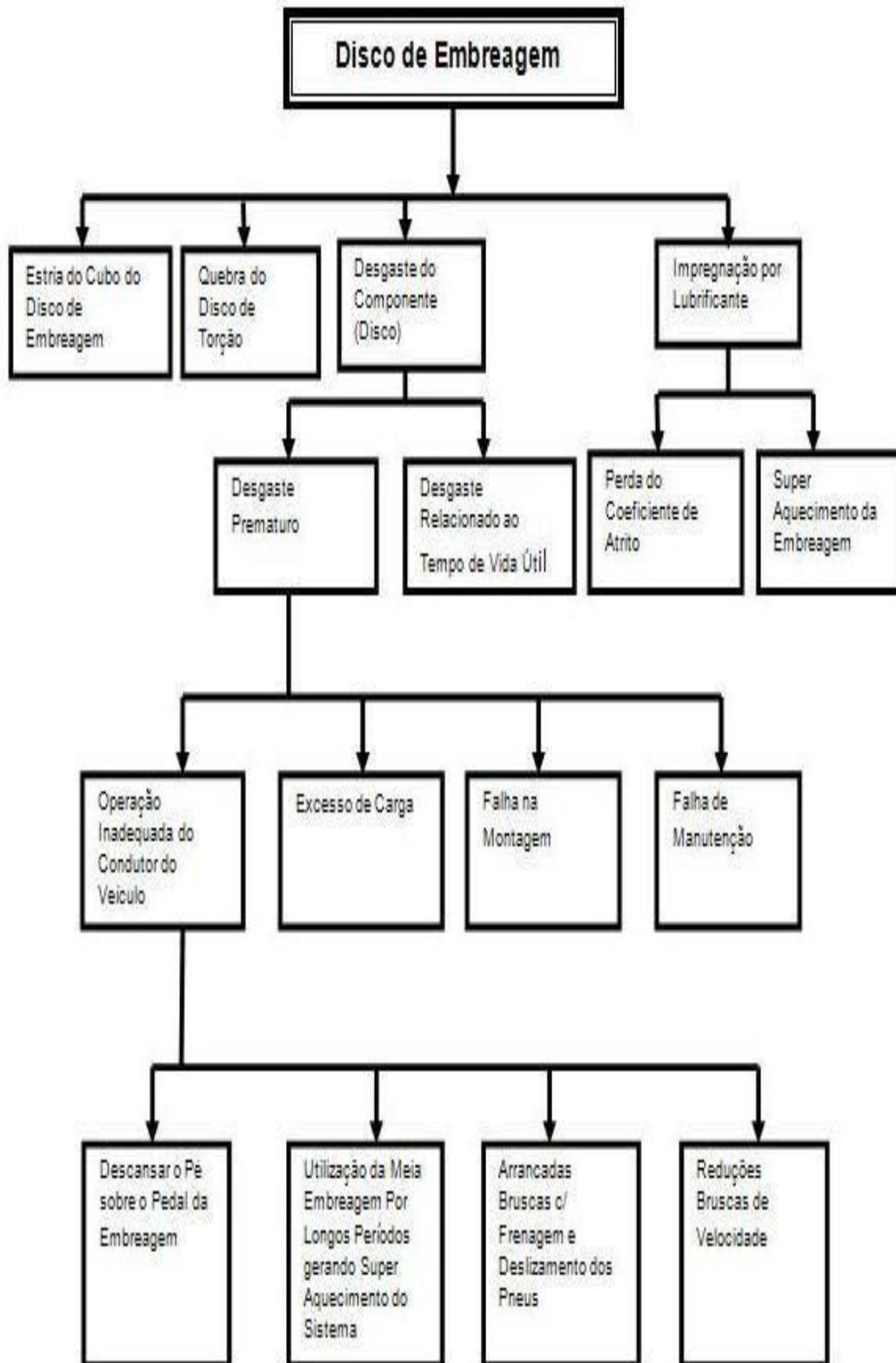


Figura 29: FMEA Para Evento Principal Embreagem (Fonte: Adaptado de Palady, 1997)

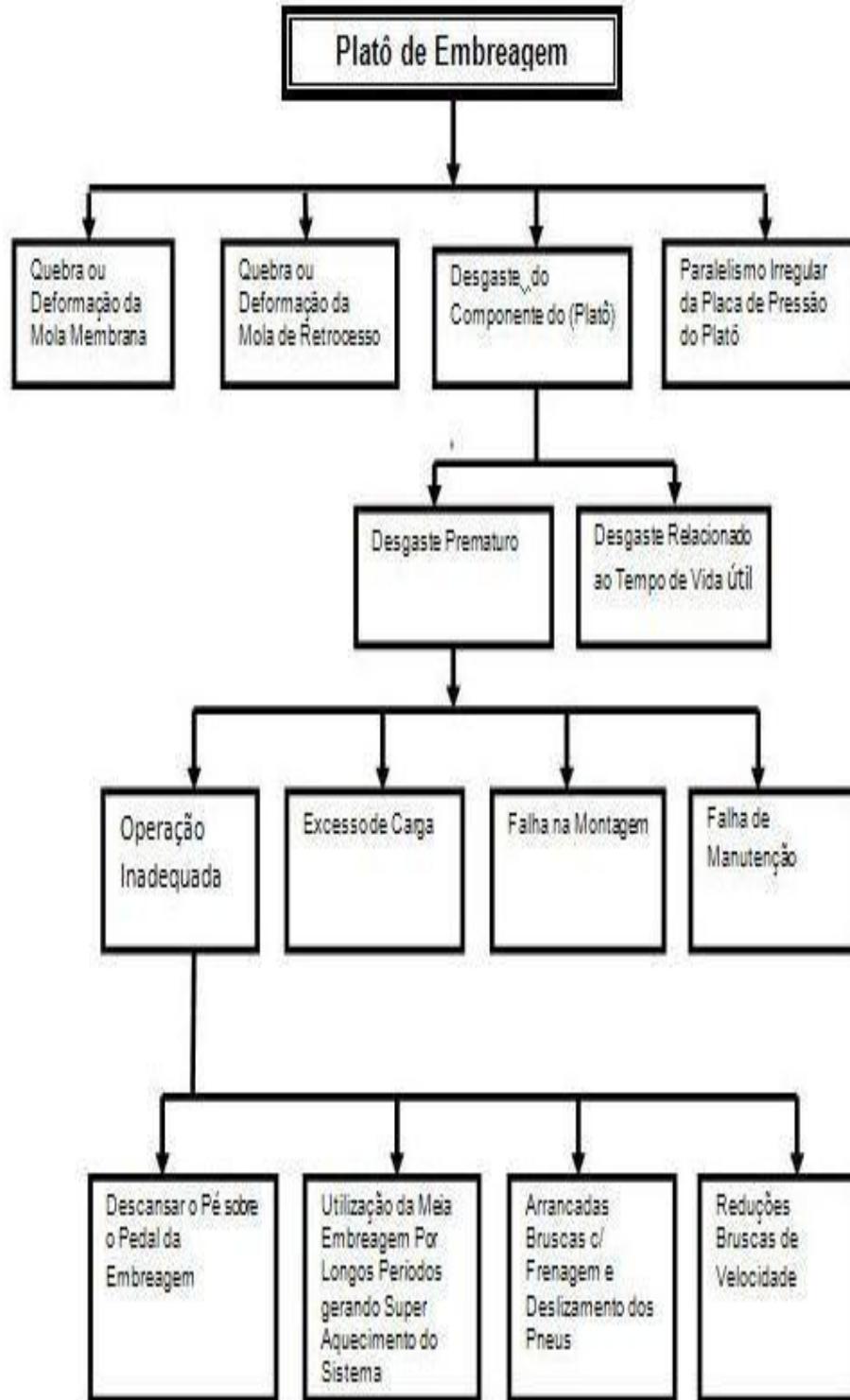


Figura 30: FMEA Para Evento Principal Embreagem (Fonte: Adaptado de Palady 1997)

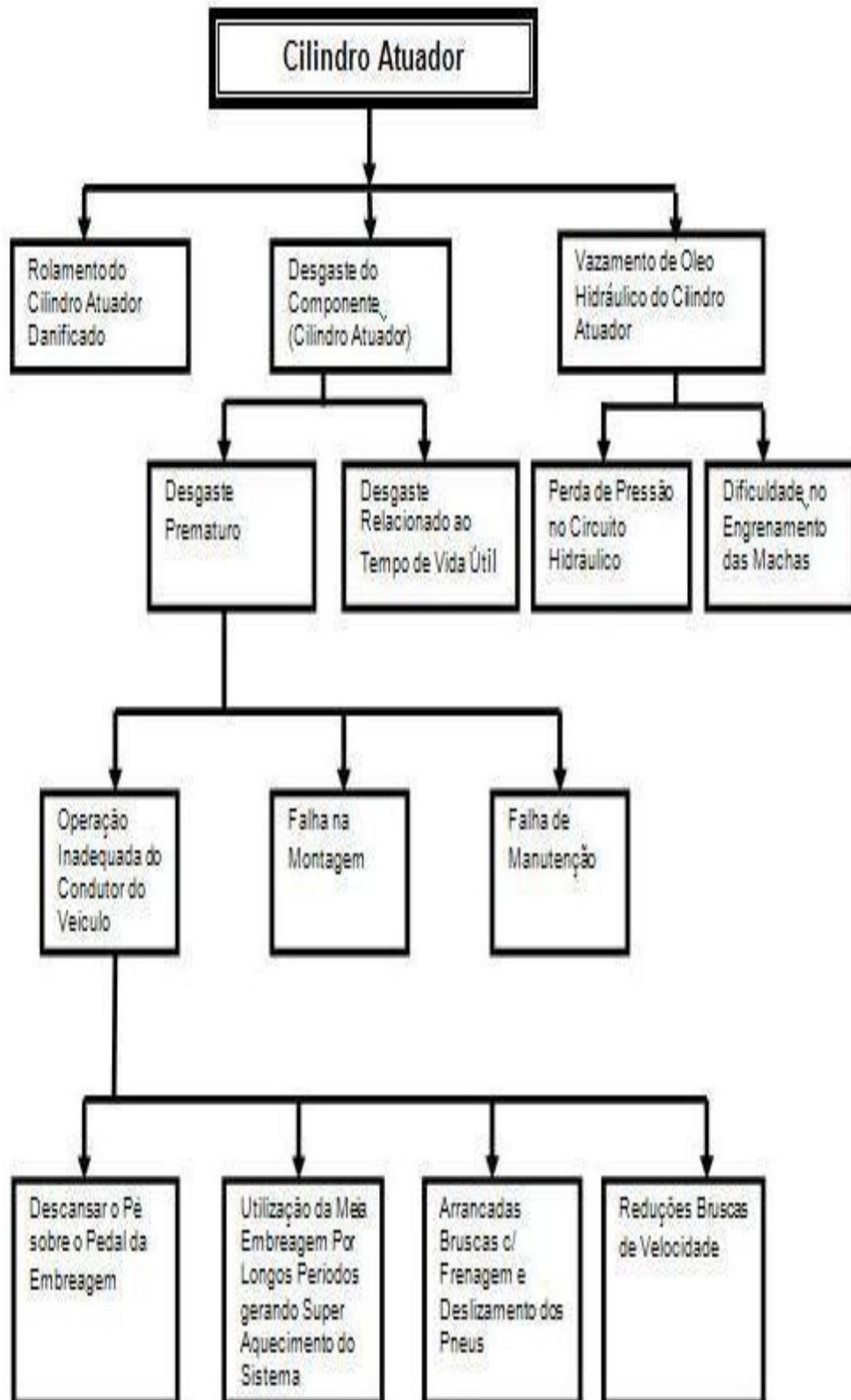


Figura 31: FMEA Para Evento Principal Embreagem (Fonte: Adaptado Palady 1997)

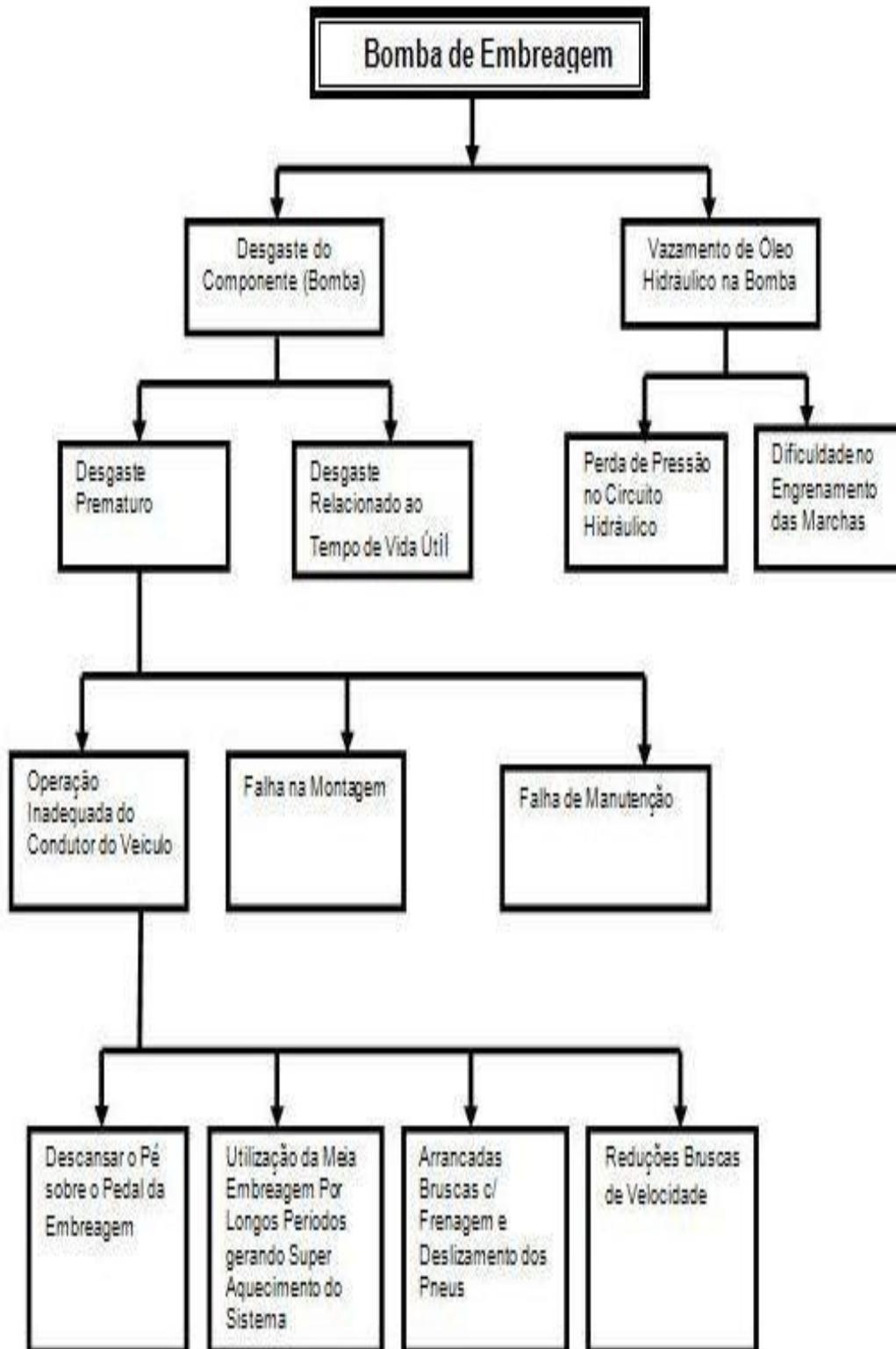


Figura 32: Á FMEA Para Evento Principal Embreagem (Fonte: Adaptado de Palady 1997)

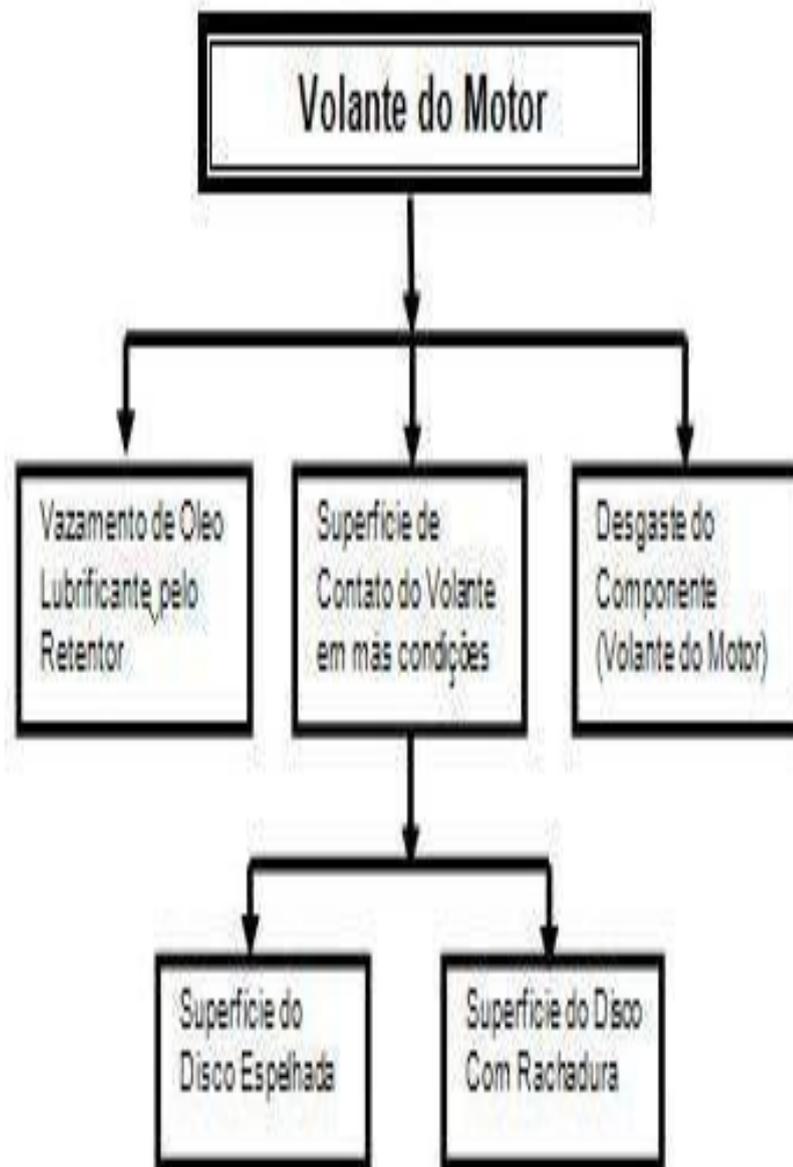


Figura 33: FMEA Para Evento Principal Embreagem (Fonte: Adaptado de Palady 1997)

## 7. DADOS REFERENTES AOS VEÍCULOS ANALISADO

Na Tabela 6, estão elencados os veículos pertencentes à frota da Casa Militar do Governador, que foram analisados neste estudo de caso:

### RELAÇÃO DOS VEÍCULOS QUE EFETUARAM TROCA PREMATURA DO KIT DE EMBREAGEM

ORD	MARCA	MODELO	ANO FAB	KM DE TROCA DA EMBREAGEM 1	KM DE TROCA DA EMBREAGEM 2	KM MÉDIA 1	KM MÉDIA 2
1.	GM	ASTRA	2009	39820	81326	<b>47.373</b>	<b>46.781</b>
2.	GM	ASTRA	2009	42360	79116		
3.	GM	ASTRA	2009	46128	92765		
4.	GM	ASTRA	2009	41589	91867		
5.	GM	ASTRA	2009	50236	86958		
6.	GM	ASTRA	2009	51265	99612		
7.	GM	ASTRA	2009	48965	101098		
8.	GM	ASTRA	2009	52362	110002		
9.	GM	ASTRA	2009	45231	88604		
10.	GM	ASTRA	2009	50824	89997		
11.	GM	ASTRA	2009	52325	114356		
12.	NISSAN	SENTRA	2010	28069	60043	<b>32.441</b>	<b>38.500</b>
13.	NISSAN	SENTRA	2010	36952	71056		
14.	NISSAN	SENTRA	2010	44332	91007		
15.	NISSAN	SENTRA	2010	31653	79719		
16.	NISSAN	SENTRA	2010	33765	80889		
17.	NISSAN	SENTRA	2010	48875	71876		
18.	FORD	RANGER	2010	38933	66876	<b>42.197</b>	<b>43.876</b>
19.	FORD	RANGER	2010	49325	90531		
20.	FORD	RANGER	2010	47852	93532		
21.	FORD	RANGER	2010	37980	89431		
22.	FORD	RANGER	2010	36895	79996		

Tabela 6: Relação dos Veículos Analisados (Fonte: Autor)

O gráfico 4 evidencia a média de quilometragem de troca do kit de embreagem:

#### GRÁFICO 4: MÉDIA DE KILOMETRAGEM X MARCAS DE VEÍCULO

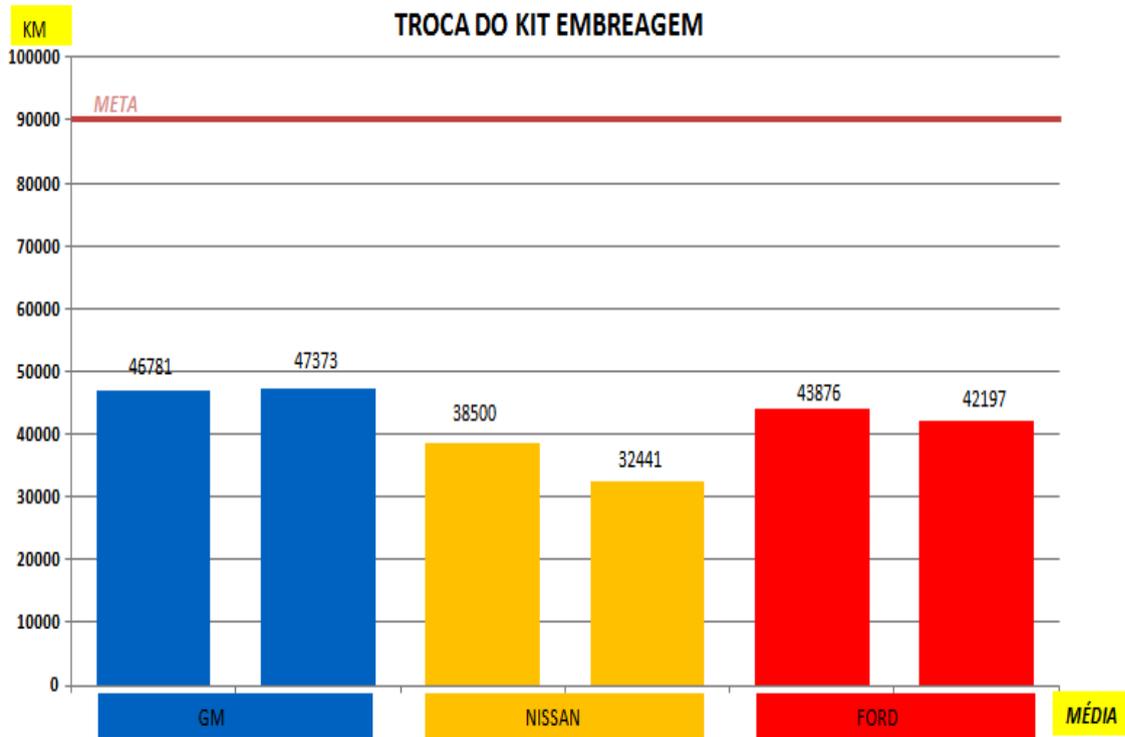


Gráfico 4: Media de quilometragem de troca (Fonte: Autor )

### 7.1 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM CAMPO

Após iniciado o processo de manutenção com o desacoplamento da caixa de marcha, em relação ao bloco do motor e a consequente desmontagem do conjunto de embreagem, foram avaliados as causas de falhas dos **22 veículos examinados**, neste estudo de caso. As Tabelas a seguir demonstram as análises, realizada com os componentes das embreagens dos veículos estudados:

COMPONENTE	MODO DE FALHA							
	Estria do Cubo danificado		Quebra do Disco torção		Perda Coeficiente de atrito		Super Aquecimento do Disco	
DISCO	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
			X		X		X	X

Tabela 7: Tabela da Análise Disco Modo de Falha (Fonte: Autor)

COMPONENTE	MODO DE FALHA							
	Quebra ou Deformação da mola membrana		Quebra ou Deformação da mola retrocesso		Paralelismo Irregular da placa de pressão		Super Aquecimento da placa de pressão	
PLATÔ	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
			X		X		X	X

Tabela 8: Tabela da Análise Platô Modo de Falha (Fonte: Autor)

COMPONENTE	MODO DE FALHA					
	Rolamento Danificado		Vazamento de Óleo hidráulico pelo retentor		Desgaste do Rolamento	
ATUADOR	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
			X		X	X

Tabela 9: Tabela da Análise Atuador Modo de Falha (Fonte: Autor)

COMPONENTE	MODO DE FALHA					
	Vazamento de óleo do Motor Retentor		Rachadura na Superfície do Volante		Volante com Sinais Super Aquecimento	
VOLANTE DO MOTOR	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
			X		X	X

Tabela 10: Tabela da Análise Volante do Motor Modo de Falha (Fonte: Autor)

COMPONENTE	MODO DE FALHA			
	Vazamento de óleo Hidráulico pelo Oring da Bomba		Pistão de Acionamento da Bomba Danificado	
BOMBA DO PEDAL	Sim	Não	Sim	Não
			X	X

Tabela 11: Análise Bomba do Pedal Modo de Falha (Fonte: Autor)

Depois de examinar os componentes do sistema de embreagem, de forma detalhada constatou-se que todos os modos de falhas eram idênticos conforme demonstrado nas tabelas de análise dos componentes do sistema. Desta forma a investigação das causas de falhas passou a análise de forma diferente sendo observadas as seguintes conjunturas: sob quais condições os veículos daquela Diretoria transitavam nas vias urbanas (com ou sem excesso de peso)? Ou se ainda ocorreu falha na manutenção ou montagem dos componentes do sistema de embreagem? Após esta verificação descobriu-se que os veículos, não transitaram com excesso de peso e que não houve falha na montagem nem na manutenção corretiva dos componentes do sistema.

Diante das evidências a principal causa de falha prematura dos kits de embreagens esta relacionada à operação inadequada do condutor a qual gerada pelos seguintes fatores:

- Descansar o pé sobre o pedal da Embreagem.
- Utilização da meia embreagem por longos períodos gerando superaquecimento.
- Arrancadas bruscas com frenagem e deslizamento dos pneus.
- Redução brusca de velocidade.

## 7.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

A matriz de correlação entre componentes é mais uma ferramenta, que evidencia as causas básicas e suas respectivas consequências, as quais contribuem para a maioria dos modos de falhas identificados na FMEA. A Tabela 12 na sequência mostra a Matriz de Correlação:

### MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE COMPONENTES MODOS DE FALHAS E CONSEQUÊNCIAS

COMPONENTES	MODOS DE FALHAS	CONSEQUÊNCIAS							
		Falha na Transmissão do Torque	Falha no Engrenamento das Marchas	Excesso de Carga	Montagem ou Manutenção	Impregnação do Disco por Lubrificante	Vazamento de Óleo pelo Retentor do Cilindro Atuador	Vazamento de Óleo pela Conexão da Bomba de Embreagem	Operação Inadequada
DISCO	Estrias do Cubo do Disco Danificado	X							
	Quebra do Disco de Torção	X							
	Desgaste Prematuro	X							X
	Fim da Vida Útil	X							
	Perda de Coeficiente de Atrito	X				X			
	Super Aquecimento do Sistema		X						
PLATÔ	Quebra ou Deformação da Mola Membrana		X						
	Quebra ou Deformação da Mola de Retrocesso		X						
	Desgaste Prematuro	X	X						X
	Fim da Vida Útil	X	X						
	Paralelismo Irregular da Placa de pressão	X	X						
ATUADOR	Rolamento Danificado	X							
	Desgaste Prematuro	X							X
	Fim da Vida Útil	X	X						
	Perda de Pressão no Circuito Hidráulico	X	X				X		
BOMBA	Desgaste Prematuro	X							X
	Fim da Vida Útil		X						
	Perda de Pressão no Circuito Hidráulico		X					X	
VOLANTE DO MOTOR	Retentor Danificado	X				X			
	Espelamento ou Rachaduras na Superfície do disco	X							
	Desgaste do Componente								

Tabela 12: Matriz de Correlação (Fonte: Autor Adaptado do Manual da SACHS, 2005)

## 8. RESULTADO

A presente pesquisa constitui-se em uma análise qualitativa com enfoque metodológico de estudo de caso. Segundo GIL (2002, p.41), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior similaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

A metodologia FMEA empregada neste estudo de caso através da Análise da Árvore de Falhas foi uma ferramenta preponderante para descoberta das causas/efeito do modo de falhas, dos componentes do sistema de embreagem (disco, platô, atuador, bomba do pedal) naquela Diretoria Transporte. Desta forma, o resultado deste estudo demonstrou a confiabilidade dos componentes do sistema de embreagem, tendo em vista, que após a análise qualitativa de cada modo de falha, através da utilização da FTA, ficou evidenciado que o problema do desgaste estava intrinsecamente relacionado à falta de uma perfeita ergonomia entre o condutor e o veículo, sendo evidenciado pelas seguintes causas de falhas:

- Descansar o pé sobre o pedal da Embreagem.
- Utilização da meia embreagem por longos períodos gerando superaquecimento.
- Arrancadas bruscas com frenagem e deslizamento dos pneus.
- Redução brusca de velocidade.

Assim sendo, após a conclusão destas análises foi solicitado e prontamente deferido pelo Diretor do setor de Transporte da Casa Militar um curso básico de noções de equipamentos automotivos e seus princípios de funcionamento com uma carga horária de 5 horas aulas.

O primeiro curso iniciou-se em data 15 de agosto de 2014, com o tema: Princípio de Funcionamento de uma Embreagem, neste curso foram demonstrados todos os componentes do sistema de uma embreagem, através de vídeo evidenciado o seu acionamento e desacionamento e por fim os danos causados por operações inadequadas do condutor. Já no segundo curso que teve seu início no dia 01 de outubro de 2014, com o tema: Transmissão Manual e Automática, já neste

curso foi apresentada as noções básicas de funcionamento de uma caixa de mudança de marcha, caixa de transferência (4x4) manual e cambio hidramático. Desta maneira foram ainda utilizados vídeos que evidenciavam o correto funcionamento dos controles de tração nas quatro rodas, e as consequências que um engrenamento de marchas inadequado podem causar em um veículo. Salientando ainda que hoje esses cursos estão sendo ministrados, em outras Secretarias do Governo do Estado.

Após um ano e quatro meses do início dos cursos foram feitas novas pesquisas sobre o percentual de gasto anual com manutenção corretiva, do sistema de embreagem e com a locação de veículos. O resultado mostrou um aumento da média de quilômetros rodados pelos veículos, hoje chegando próximo a 72000 quilômetros e uma diminuição do percentual de gastos com manutenção do kit de embreagem na ordem de 8,5% e uma diminuição significativa com a locação de veículos algo em torno de 12%.

Portanto, o trabalho alcançou seu intuito quando estabeleceu um método rápido e de baixo custo para assegurar uma melhor disponibilidade dos componentes do sistema de embreagem e uma melhor percepção dos condutores na condução dos veículos desta diretoria ora mencionada.

## 9. CONCLUSÃO

Tendo inicialmente como base os dados coletados, o estudo de caso mostrou á baixa disponibilidade dos kits de embreagem, dos veículos pertencentes à supracitada Diretoria de Transportes gerando, por conseguinte, gastos adicionais com manutenção e locação de veículos.

Num segundo momento o referido estudo teve como pilar as ferramentas analíticas do FMEA, que em conjunto com a FTA estabeleceu de maneira lógica uma análise sistemática e estruturada dos modos de falhas potenciais, que podem ocorrer em qualquer parte do sistema de embreagem, eliminando dessa maneira o provável motivo da causa da falha, de cada um dos componentes e impedindo que elas se tornem reincidentes.

Portanto, após a observação das Análises dos Modos e Causa de Falhas ficou evidenciado que a manutenção corretiva prematura, não tinha relação com a confiabilidade dos componentes do sistema de embreagem e sim com uma perfeita ergonomia entre o condutor e o veículo.

Desta forma, após finalizar a primeira etapa dos cursos sobre componentes automotivos, pode-se concluir que o referido estudo de caso conseguiu atingir seu objetivo, uma vez que proporcionou uma redução significativa nos custos de manutenção, com um aumento significativo da quilometragem relacionada à troca do kit de embreagem e um decréscimo nos valores referentes à locação de veículos, além de gerar uma perfeita interação entre condutor e o veículo. Diante destas evidências foram criadas as bases para que novos cursos fossem ministrados para os condutores, da citada Diretoria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILLINTON R., Allan R.N., **Reliability Evaluation of Engineering Systems, England**: The Bath Press, Avon, 1987, 349p.

DUQUE, Edson Luciano. **Desenvolvimento de um Modelo de Simulação do Acoplamento da Embreagem Durante a Partida do Veículo**. Dissertação (Mestrado), São Bernardo do Campo, Centro Universitário da FEI, 2010. 148 p.

FREITAS, M. A, Colosimo, E. A. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**, Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997, 326p.

GIL, Antônio Carlos. **Método e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 2002.

HELMAN, H., Andery, P.R.P. **Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**, Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995, 156p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

LAFRAIA, Joao Ricardo Barusso. **Manutenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001, 388p.

PALADY, Paul., FMEA – **Análise dos Modos de Falhas e Efeitos: prevenindo e prevenindo problemas antes que ocorram**, São Paulo, SP: IMAM, 1997.

REAY, K.A., Andrews, J.D., **A fault tree analysis strategy using binary decision diagrams**, Reliability Engineering and System Safety 78 (2002) 45-56.

SACHS Aftermarket Center. **Manual de reparo de sistemas de embreagem caminhões e ônibus**. Edição nº01. São Bernardo do Campo. ZF do Brasil Ltda Divisão SACHS. Jan/2005.

SANTANA, Souza de, **Transmissão automotiva leve**. Apostila do Senai-Cimatec, 2006.

SANTOS, W. M., **Sistema de acionamento de embreagem hidráulico para caminhões leves**. Dissertação (Mestrado), São Paulo, Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva, Universidade de São Paulo, 2006.

SHAVER, R. **Manual transmission clutch systems**. Society of Automotive Engineers, Warrendale-USA, AE-17,1997. 191p.

TEIXEIRA, Carlos Adriano Rigo. **A Confiabilidade como Fator de Valor na Melhoria de Produtos**. Estudo de Caso: Sistema de Embreagem Automotiva, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 113 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional.

VALEO Transmissions. **Self adjusting technology**. Trabalho apresentado à DaimlerChrysler do Brasil. São Bernardo do Campo. Mar/2004. Não Publicado.

**Curiosidades.** Disponível em < <http://www.cambiocenter.com.br/curiosidades.cfm>> Acesso em: 16 outubro 2013.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO XXVII da ABEPRO, 2007, Foz do Iguaçu. **A energia que move a produção:** um dialogo sobre integração, projeto e sustentabilidade: anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção da ABEPRO. Fortaleza: 2007. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_TR570432\\_0566.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_TR570432_0566.pdf)>. Acesso em: 03 dezembro 2015,

**Sistema de Acionamento Hidráulico.** Disponível em <http://oautomovel.blogspot.com/2008/12/sistema-de-acionamento-hidraulico-da.html> > Acesso em: 10 outubro 2013.

**Blogspot.** Disponível em <http://autosauer.blogspot.com/>. Acesso em: 10 janeiro 2014.

**Notícias.** Disponível em <http://www.valeoservice.com.br/noticias/41/Sistema-de-acionamento-hidraulico.pdf>. Acesso em 10 março 2014.

**Mola membrana.** Disponível em <http://www.ancona.com.br/loja/Ancona-mola-membrana-embregem-plato-fusca-C%C3%B3d03019-p-3019.html>. Acesso em 10 março 2015.

**Serviço.** Disponível em <http://bestcars.uol.com.br/servico/dm-91.htm>. Acesso em 08 março 2015.