UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

ROANDRE MESSNER ARESI

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS ESCOVAS DE UM MOTOR CC EM FUNÇÃO DA CORRENTE APLICADA

VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2018

ROANDRE MESSNER ARESI

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS ESCOVAS DE UM MOTOR CC EM FUNÇÃO DA CORRENTE APLICADA

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação do aluno **Roandre Messner Aresi**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Eletricista.

_____

Prof. Eng. José Luiz Borba
Orientador

VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2018

ROANDRE MESSNER ARESI

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS ESCOVAS DE UM MOTOR CC EM FUNÇÃO DA CORRENTE APLICADA

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Roandre Messner Aresi**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Aprovado em 30/10/2018

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Eng. José Luiz Borba
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Orientador

Profa. Dra. Jussara Farias Fardin
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

Eng. Débora de Souza Martins
Examinador

RESUMO

Analisando os modos de falhas dos motores de tração em corrente contínua de uma locomotiva diesel elétrica, podemos observar que grande parte deles tem como causa raiz os problemas produzidos por suas escovas.

Flashover, desgaste excessivo do comutador, desgaste excessivo das escovas, soltura de rabichos, são falhas comuns que normalmente estão associadas ao dimensionamento das escovas e seu mecanismo de contato no porta escovas. Buscando um melhor desempenho desses motores, desenvolvemos este estudo, que contempla os componentes das escovas elétricas, os aspectos que afetam o desempenho das escovas e o comportamento das escovas de um motor CC em função da corrente aplicada as mesmas, que visa utilizar a teoria básica de escovas de eletrografite para melhor dimensionamento das escovas aplicadas aos motores de tração GE 761, que é nosso estudo de caso.

Palavras-chave: Motores de Tração, Escovas de Eletrografite, Densidade de Corrente, Causa de Falhas.

ABSTRACT

By analyzing the failure modes of the DC motors of an electric diesel locomotive, we can see that most of them are caused by the problems produced by their brushes.

Flashover, excessive wear of the commutator, excessive wear of brushes, loosening of cables, are common faults that are usually associated with the sizing of the brushes and their mechanism of contact in the brush holder. In order to achieve a better performance of these motors, we have developed this study, which considers the components of the electric brushes, the aspects that affect the performance of the brushes and the behavior of the brushes of a DC motor as a function of the current applied to them, of electrographite brushes for better scaling of the brushes applied to GE 761 traction motors, which is our case study.

Keywords: Traction Motors, Electrographies Brushes, Current Density, Cause of Faults.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carcaça do motor CC 13
Figura 2 – Polo de excitação 14
Figura 3 – Núcleo do polo de excitação (sapata polar) 14
Figura 4 – Polo de comutação 15
Figura 5 – Núcleo de comutação 15
Figura 6 – Porta-escovas 16
Figura 7 – Escovas 16
Figura 8 – Fixação dos porta-escovas na carcaça 17
Figura 9 – Montagem dos polos, dos interpolos e dos porta-escovas no interior da carcaça . 17
Figura 10 – Armadura 18
Figura 11 – Eixo 18
Figura 12 – Pacote laminado 19
Figura 13 – Comutador 20
Figura 14 – Detalhes do comutador 20
Figura 15 – Vista explodida do motor 21
Figura 16 – Partes da escova 25
Figura 17 – Conexão com pó de cobre 27
Figura 18 – Conexão com rebite 27
Figura 19 – Conexão com rebite, real 27
Figura 20 – Rabicho soldado 28
Figura 21 – Conexão do tipo topo metálico 28
Figura 22 – Terminais 29
Figura 23 – Isolamento do rabicho 29
Figura 24 – Estribos de proteção 30
Figura 25 – Estribo de distribuição de pressão 31
Figura 26 – Estribo limitador de vida 31
Figura 27 – Estribo com conexão 32
Figura 28 – Escova monobloco 32
Figura 29 – Escova tripla 33
Figura 30 – Filme em comutador 43
Figura 31 – Riscos em comutador 44
Figura 32 – Faixas 44

Figura 33 – Pattern....45
Figura 34 – Pattern....45
Figura 35 – Conjunto de faixas....46
Figura 36 – Filetes....46
Figura 37 – Filetes, escovas reduzidas....47
Figura 38 – Fuligem ou sujeira....47
Figura 39 – Excelente polimento....48
Figura 40 – Polimento sombreado....48
Figura 41 – Abertura de ranhuras....49
Figura 42 – Saliências....49
Figura 43 – Arraste de cobre....50
Figura 44 – Manchas....50
Figura 45 – Face queimada....51
Figura 46 – Cantos queimados....51
Figura 47 – Avaria por *flashover*....54
Figura 48 – Porta-escovas danificado....56
Figura 49 – Diferença da escova gasta e nova....57
Figura 50 – Esquema do comutador e porta-escovas....58
Figura 51 – Rabicho preso com pó tratado de cobre....60
Figura 52 – Escova com rabicho solto....60
Figura 53 – Porta escovas com molas radiais....61
Figura 54 – Comparação entre o modelo novo e o antigo de escova....62
Figura 55 – Novo modelo de escova....62
Figura 56 – Espiral de resfriamento do comutador....63
Figura 57 – Comutador se a espiral de resfriamento....63
Figura 58 – Comutador novo já instalado no motor....64
Figura 59 – Novo porta-escova....65
Figura 60 – Comparação porta-escovas projeto....65
Figura 61 – Comparação porta escovas....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do motor GE 761 57
Tabela 2 – Custo do projeto 66
Tabela 3 – Comparação financeira dos projetos 67
Tabela 4 – Gastos reais 68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação das expectativas dos projetos 67
Gráfico 2 – Comparação de custos 68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A	Ampères
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
ERC	Escova para recondicionamento de comutadores
fcem	Força contra eletromotriz
fem	Força eletromotriz
m	metros
mm	milímetros
IEC	*International Eletrotechnical* Commission
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
V	Volts
Ω	Ohms

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Justificativa 22
1.2 Objetivo geral e objetivos específicos 23
1.2.1 Objetivo geral 23
1.2.2 Objetivo específico 23
2 A ESCOVA CONDUTORA 24
2.1 Característica da matéria prima 24
2.2 Componentes de uma escova 25
2.2.1 Corpo da escova 26
2.2.2 Rabichos 26
2.2.3 Conexões 26
2.2.4 Terminais 29
2.2.5 Isolamento 29
2.2.6 Estribos 30
2.3 Principais tipos de escovas 32
2.3.1 Escova monobloco 32
2.3.2 Escovas de carvão duplas e triplas 32
2.3.3 Escovas estriadas 33
2.3.4 Escovas para recondicionamento de comutadores 33
3 ASPECTOS QUE AFETAM O DESEMPENHO DAS ESCOVAS 35
3.1 Aspectos físicos 35
3.1.1 Umidade 35
3.1.2 Vapores ou gases corrosivos 35
3.1.3 Hidrocarbonetos 35
3.1.4 Poeiras 36
3.1.5 Vibrações 36
3.1.6 Pressão 37
3.1.7 Folgas 37
3.2 Aspectos operacionais 37
3.2.1 Escovas quebradas ou lascadas 37
3.2.2 Desgaste desigual de escovas 37

3.2.3 Cisalhamento do rabicho 38
3.2.4 Rabicho solto 38
3.2.5 Conexões superaquecidas 38
3.2.6 Escovas presas 38
3.2.7 Mistura de granulação de escovas 38
3.2.8 Erosão excessiva da face da escova em contato com o porta escovas 38
3.2.9 Vitrificação da face de contato da escova 39
3.2.10 Desgaste excessivo das escovas 39
3.2.11 Ataque do cobre 39
3.2.12 Riscos no comutador 39
3.2.13 Lâminas marcadas 40
3.2.14 Queima de lâminas 40
3.2.15 Formação de parte plana no comutador 40
3.2.16 Copper dragging 40
3.2.17 Mica saliente 41
3.2.18 Lâmina alta 41
3.2.19 Desgaste excessivo das caixas de porta-escovas 41
3.2.20 Excesso de graxa 41
3.2.21 Superaquecimento das molas do porta-escovas 41
3.3 Aspectos elétricos 42
3.3.1 Comutação 42
3.3.2 Comutação ineficiente e eficiente 42
3.4 Ilustrações das condições do comutador 43
3.4.1 O filme ideal na superfície 43
3.4.2 Riscos 43
3.4.3 Faixas 44
3.4.4 Série de faixas regulares (*pattern*) 45
3.4.5 Conjunto de faixas 45
3.4.6 Filetes 46
3.4.7 Fuligem ou sujeira 47
3.4.8 Excelente polimento 47
3.4.9 Polimento sombreado 48
3.4.10 Abertura de ranhuras 48
3.4.11 Saliências 49

3.4.12 Arrastamento de cobre 50
3.4.13 Manchas horizontais 50
3.4.14 Lâminas com face queimada 51
3.4.15 Lâminas com cantos queimados 51
3.4.16 Condição da superfície do comutador 52
3.4.17 Conjunto comutador 52
3.5 Flashover 53
3.5.1 Principais causas de *flashovers* 53
3.5.2 Efeitos de um *flashover* 55
3.5.3 Ações corretivas 56
3.5.4 Manutenção preventiva 56
4 ESTUDO DE CASO 57
4.1 Determinação da causa da falha 57
4.1.1 Causa do superaquecimento das escovas 58
4.1.2 Soltura de rabicho 60
4.1.3 Faiscamento 61
4.2 Novo modelo de escova e porta escova 61
4.2.1 Um novo desenho para o comutador 63
4.2.2 Um novo porta-escovas 64
4.2.3 Custos do novo projeto 66
4.3 RESULTADOS 67
5 CONCLUSÃO 70
REFERÊNCIAS 71

1 INTRODUÇÃO

Os motores de tração em corrente contínua são máquinas que podem funcionar como:

- Motor - transformando a energia elétrica aplicada aos seus terminais em energia mecânica disponível em seu eixo;
- Gerador - transformando a energia mecânica aplicada ao seu eixo em energia elétrica disponível em seus terminais.

Construtivamente são compostos por dois elementos, o estator e o rotor.

O estator é a parte fixa do motor e é formado por:

- Carcaça

A carcaça é uma estrutura de ferro fundido, que tem a finalidade de suportar o conjunto e conduzir o fluxo magnético.

Sua forma deve facilitar as inspeções e os eventuais reparos a serem feitos.

Por exemplo, a troca das escovas e a limpeza do comutador são feitas através de janelas apropriadas na carcaça, providas de tampa com fechamento hermético, facilmente removível.

A Figura 1 demonstra um exemplo de carcaça do motor CC.

Figura 1 – Carcaça do motor CC

Fonte: Material próprio

- Polos de excitação

Os polos de excitação, ou simplesmente polos, têm a finalidade de gerar o fluxo magnético.

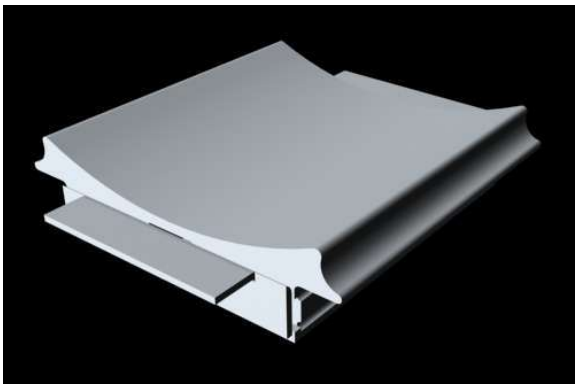
São constituídos por condutores de cobre de seção retangular, enrolados formando uma bobina, sobre um núcleo de lâminas de aço-silício, que é chamado de *sapata polar*, cuja superfície possui um perfil cilíndrico que se ajusta à curvatura da armadura. A Figura 2 é um exemplo de polo de excitação.

Figura 2 – Polo de excitação

Fonte: Material próprio

A Figura 3 mostra o núcleo do polo de excitação.

Figura 3 – Núcleo do polo de excitação (sapata polar)



Fonte: MGE Transportes

- Polos de comutação

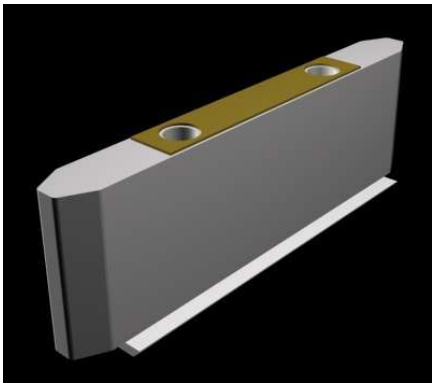
Os polos de comutação são constituídos por condutores de cobre de seção retangular, enrolados formando uma bobina, sobre um núcleo maciço de aço. A Figura 4 representa os polos de comutação.

Figura 4 – Polo de comutação

Fonte: Material próprio

Na Figura 5 exibe um núcleo de comutação.

Figura 5 – Núcleo de comutação



Fonte: MGE Transportes

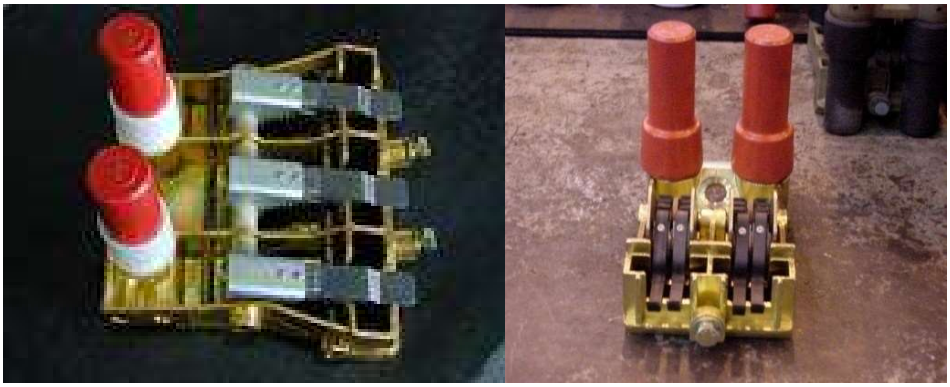
Têm a finalidade de compensar o efeito da reação da armadura na região de comutação, reduzindo a possibilidade de centelhamento.

Para tanto, são colocados na região entre os polos, por isso, também denominados de interpolos, e percorridos pela mesma corrente da armadura.

- Porta-escovas e escovas

As *escovas*, compostas de material condutor a base de carvão eletro-grafítico, são centradas, guiadas e devidamente pressionadas contra o coletor por suportes especiais denominados de *porta-escovas*. A Figura 6 são exemplos de porta-escovas.

Figura 6 – Porta-escovas

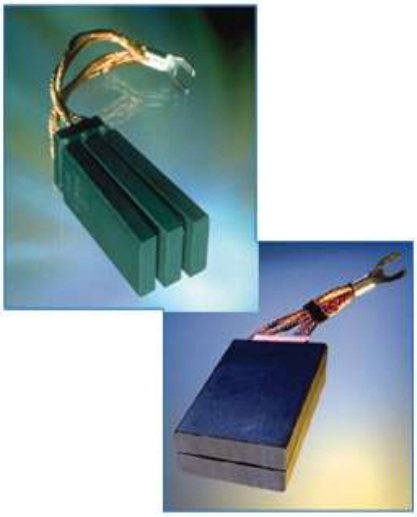


Fonte: Material próprio

Escovas: responsáveis pelo contato elétrico da parte fixa do motor com a parte girante. Fazem contato direto com os comutadores e normalmente são feitas de carvão grafite.

As molas dos porta-escovas mantêm constante a pressão das escovas sobre o comutador à medida que estas sofrem desgaste. Exemplos de escovas estão na Figura 7.

Figura 7 – Escovas



Fonte: Mersen

Os pinos de sustentação dos porta-escovas são fixados à carcaça através do *suporte de porta-escovas*, de tal modo a permitir que as escovas, pressionadas pelas molas, deslizem sobre o comutador quando este gira, proporcionando a ligação elétrica entre a armadura e o exterior. Na Figura 8 mostra como é a fixação dos porta-escovas na carcaça do motor CC.

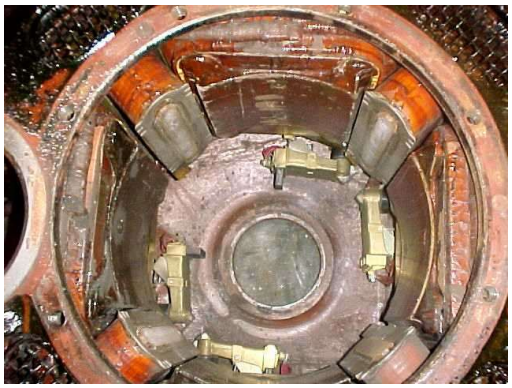
Figura 8 – Fixação dos porta-escovas na carcaça

Fonte: Material próprio

Os porta-escovas são fixados à carcaça de modo que as escovas sejam posicionadas em correspondência com a zona de inversão polar, ou zona neutra, permitindo assim a inversão do sentido de giro do motor.

Na Figura 9 vemos a montagem dos *polos*, dos *interpolos* e dos *porta-escovas* no interior da carcaça.

Figura 9 – Montagem dos polos, dos interpolos e dos porta-escovas no interior da carcaça



Fonte: Material próprio

Na Figura 10 vemos o conjunto de um rotor, que também é denominado de *armadura*.

Figura 10 – Armadura

Fonte: Material próprio

Basicamente é formado por:

- Eixo

O *eixo* é o elemento que transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. Na Figura 11 pode-se ver um técnico medindo um eixo de motor CC.

Figura 11 – Eixo

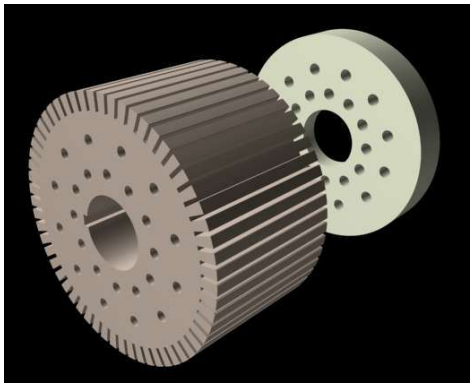
Fonte: Manser

Moldado em aço carbono, suporta o pinhão em uma de suas extremidades.

- Rotor com enrolamento

O rotor é um tambor formado por um pacote de lâminas de aço-silício, centrado no interior da carcaça, com ranhuras axiais na periferia para acomodar o enrolamento da armadura, que é constituído por várias espiras defasadas no espaço, de modo a se obter um conjugado constante durante um giro completo do rotor. A Figura 12 é um exemplo de pacote laminado.

Figura 12 – Pacote laminado



Fonte: MGE Transportes

O enrolamento de armadura indicado para motores de tração é o do *tipo ondulado*, por causa da possibilidade de usar apenas dois conjuntos de escovas, dispostos de forma a serem facilmente acessados.

O motor com enrolamento ondulado é recomendado para aplicações em alta tensão e baixa corrente, o que indica que o motor deve operar em altas velocidades. A especificação de tensão é limitada pelo aparecimento de arco elétrico entre os segmentos adjacentes do comutador e pela qualidade do isolamento das bobinas da armadura. No enrolamento ondulado, cada bobina do enrolamento da armadura está em contato elétrico com uma determinada lâmina do comutador.

- Comutador

O comutador, mais comumente chamado de *coletor*, é a peça vital de todos os motores de corrente contínua.

Os comutadores exercem três funções básicas:

1. Fornecem o contato elétrico deslizante indispensável entre as escovas fixas e a armadura em rotação;
2. Atuam como chave de reversão;

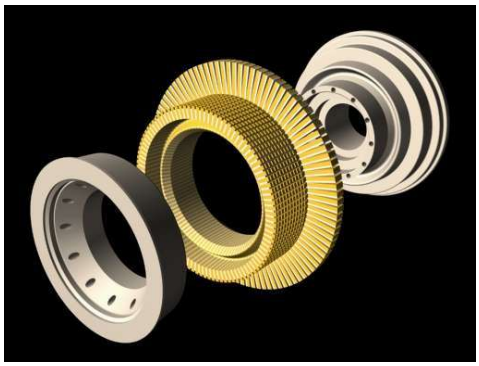
O comutador é o conversor mecânico que transfere a energia elétrica ao enrolamento da armadura, possibilitando a circulação de corrente alternada pelo mesmo quando alimentado por uma fonte de corrente contínua.

À medida que as pontas das bobinas de armadura passam pelas escovas, o comutador transfere-as de um circuito para outro, fazendo com que todas as bobinas sejam atravessadas por corrente elétrica, fluindo sempre na direção correta.

3. Conduzem à superfície das escovas a voltagem de cada bobina da armadura do circuito;

Essas voltagens são adicionadas, lâmina por lâmina, entre as escovas. Em consequência, a voltagem total de operação da máquina aparece nas escovas. A Figura 13 mostra um comutador desmontado

Figura 13 – Comutador

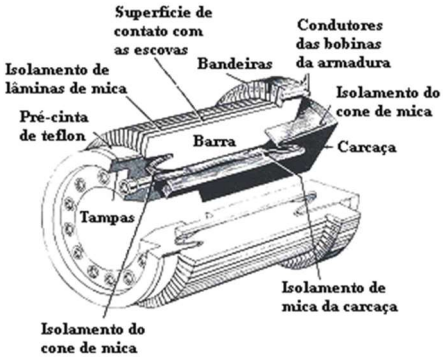


Fonte: MGE Transportes

Os comutadores de motores de tração são constituídos por um elevado número de lâminas de cobre (barras) em forma de cunha, ajustadas em forma de cilindro e separada eletricamente uma das outras por meio de lâminas de mica de muito boa qualidade.

O elevado número de lâminas obriga o uso de comutadores com diâmetro quase igual ao do rotor. A Figura 14 mostra detalhes do comutador

Figura 14 – Detalhes do comutador



Fonte: GE Transportation

As lâminas de mica são rebaixadas em relação à superfície das barras para não interferirem no deslizamento das escovas sobre a superfície do coletor.

Cada barra possui uma bandeira em uma de suas extremidades, onde é feita a ligação com a bobina da armadura.

As barras são mantidas em posição pela ação de aperto de uma tampa de aço aparafusada em uma carcaça também em aço.

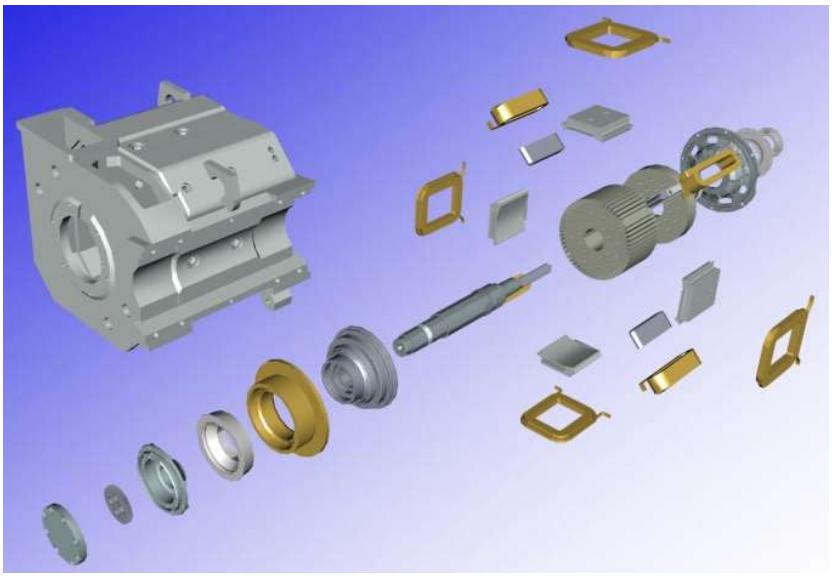
Uma bandagem de teflon ou de resina epóxi, denominada de colarinho, aplicada sobre o isolamento exposto do cone de mica, protege a mica contra avarias e apresenta uma superfície lisa de isolamento superficial que é fácil de ser mantida limpa.

Na ocorrência de arco (*flash)* durante uma falha de comutação, o ar se torna ionizado, criando um caminho de curto circuito entre os porta-escovas positivos e negativos e posteriormente na direção da tampa do comutador.

Devido a corrente em direção a terra, as temperaturas nos pontos de passagem se elevam bastante, carbonizando o colarinho.

Na Figura 15 vemos uma vista explodida de um motor de tração em corrente contínua.

Figura 15 – Vista explodida do motor



Fonte: MGE Transportes

1.1 Justificativa

Os motores CC ainda são indicados para atividades em que há necessidade de aplicação de um torque elevado sob velocidade variável, como por exemplo:

- Máquinas de papel;
- Bobinadeiras e desbobinadeiras;
- Laminadores;
- Máquinas de impressão;
- Elevadores;
- Movimentação e elevação de cargas;
- Ferroviárias.

Por apresentarem um desgaste acentuado das escovas, que é uma das causas fundamentais de grande quantidade de falhas, os motores CC necessitam de inspeções constantes, o que demanda uma grande quantidade de mão de obra.

As escovas dos motores CC apresentam dois tipos de desgaste:

1. Desgaste mecânico $\Rightarrow$ aquele que se dá pelo atrito mecânico das escovas com os comutadores;
2. Desgaste elétrico $\Rightarrow$ aquele que se dá pela passagem de corrente elétrica pelas escovas, assim o material, que normalmente é um composto de carbono, se desgasta.

Quando as escovas não estão adequadamente dimensionadas, o desgaste elétrico acentua o desgaste total da escova que antecipa o atendimento por parte da equipe de manutenção.

Cabe por fim, destacar que com esse estudo pode-se prolongar a vida útil das escovas de um motor, reduzindo, assim, o número de trocas de escovas e consequentemente o número de intervenções no motor, o que produz prejuízos operacionais e financeiros.

1.2 Objetivo geral e objetivos específicos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto é estudar o comportamento das escovas de carbono grafite de um motor CC para aplicação ferroviária em função da densidade de corrente nela aplicada.

1.2.2 Objetivo específico

- Fazer levantamento das características das escovas;
- Catalogar os problemas apresentados pelas escovas;
- Estudo do desgaste das escovas;
- Catalogar as falhas nos motores em decorrência do aquecimento das escovas;
- Estudar a variação da temperatura de operação das escovas em função da densidade de corrente;
- Ilustrar o comportamento das escovas sob ação da corrente com estudo de casos;

2 A ESCOVA CONDUTORA

A escova condutora é uma peça fundamental para um ótimo funcionamento de um motor CC. Corresponde à peça de carvão usinada, que acoplada à outras peças permite a transferência da corrente elétrica de uma parte fixa para uma parte móvel, bem como, de uma parte móvel para uma parte fixa.

2.1 Característica da matéria prima

Existem vários tipos de escovas de motores CC classificadas conforme sua matéria prima, alguns exemplos são:

- Carvão grafite (duro ou amorfo);
- Eletrografite;
- Metal grafite;
- Carvão grafite;
- Grafite natural;
- Grafite com liga de resina.

Essas matérias-primas passam por um processo com temperaturas de 2.300º a 2.800° C. Esse processo gera uma mudança na estrutura do material, tornando-a mais grafítica.

O eletrografite é o material com maior área de aplicação e o material mais utilizado na indústria. Com algumas restrições, pode ser utilizado em comutadores e em anéis coletores, exceto em motores universais de difícil comutação.

Graças sua alta pureza, o eletrografite protege o material do coletor. Devido a sua estrutura cristalina, possui ótimas características de atrito. Dependendo das propriedades do material e das circunstancias funcionamento, o valor do coeficiente de atrito fica entre $\mu = 0{,}1$ a 0,25. Alguns tipos de eletrografite, podem ser utilizados em velocidade periférica relativamente elevada de 60 *m/s*, em alguns casos especiais com granulações especiais de até 80 *m/s*.

A boa resistência a oxidação juntamente com boa condutividade térmica, retarda a deterioração das escovas em caso de faiscamento. Pode-se construir materiais que conciliem resistência mecânica e uma boa elasticidade, para serem utilizados em motores de tração, onde deve-se exercer uma grande potência.

Uma boa condutância elétrica, de aproximadamente 15 a 100 $\mu\Omega/m$, dependendo da particularidade do material ocasiona perdas elétricas admissíveis, no entanto assegura uma aceitável capacidade de comutação nas máquinas.

É sempre viável, alterando a composição da matéria-prima e o método de fabricação, destacar determinadas características individuais do material, como por exemplo, boa distribuição de corrente, resistência à sobre carga, resistência a esforços mecânicos e alta capacidade de comutação. Conforme a área de aplicação, a densidade de corrente nominal do eletrografite oscila entre 12 a 16 A/cm^2. Dependendo do tipo de eletrografite, pode-se aplicar 60 A/cm^2 por curtos períodos.

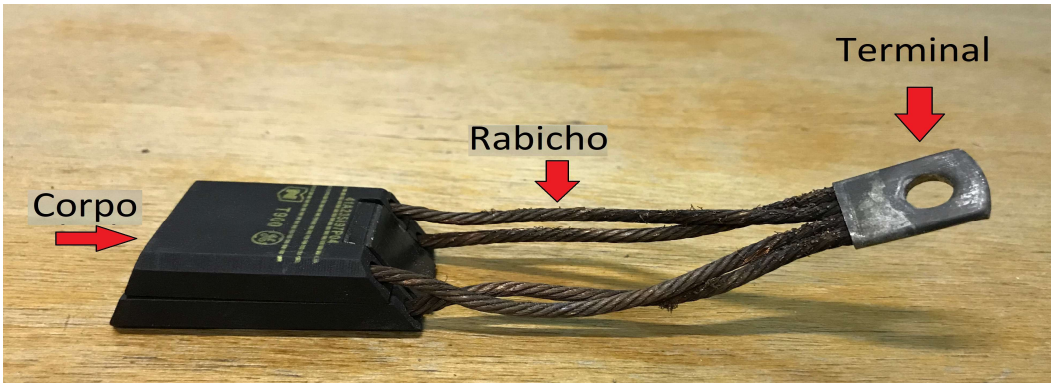
2.2 Componentes de uma escova

A escova compreende as seguintes partes:

- Corpo da escova;
- Rabichos;
- Conexões;
- Terminais;
- Isolamento;
- Estribos.

A Figura 16 apresenta as partes da escova.

Figura 16 – Partes da escova



Fonte: Material próprio.

2.2.1 Corpo da escova

O corpo da escova é responsável por receber os demais acessórios da escova, também fica encarregado por manter o contato elétrico com a parte girante do motor CC. O corpo da escova corresponde à peça de carvão ou material eletrografítico que sofreu uma usinagem específica.

2.2.2 Rabichos

É a parte flexível da escova, fabricada com fios de cobre, que serve de ligação entre o corpo da escova e a parte rígida do motor CC. Deve sempre estar bem fixada no corpo da escova e no terminal que faz a ligação com a parte rígida do motor, essa fixação bem-feita, evita uma série de falhas.

Para a determinação da bitola do rabicho, existem normas específicas da ABNT e da IEC. A escolha do rabicho é feita de acordo com a corrente que circula pela escova a qual está conectado. Logo, para cada valor de corrente conduzida, existe um valor de bitola pré-definido para os rabichos.

Os rabichos normalmente são projetados para conduzir uma corrente muito maior que a da própria escova. Caso apresentem regiões azuladas (aparentando estarem queimados) é uma indicação de aplicação de sobrecorrente, acima de 300%, por períodos prolongados.

2.2.3 Conexões

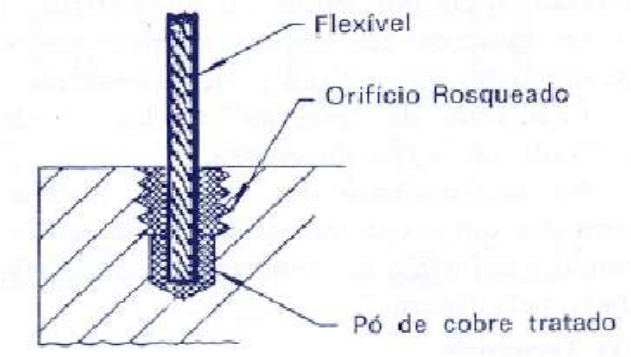
A conexão entre o rabicho e a escova pode ser feita das seguintes formas:

- Conexão em pó de cobre;
- Conexão com rebite;
- Conexão com solda;
- Conexão com material metálico.

2.2.3.1 Conexão em pó de cobre

O rabicho é preso a escova perfurada com brocas especiais. O pó de cobre é compactado em sua volta, como a Figura 17 demonstra.

Figura 17 – Conexão com pó de cobre

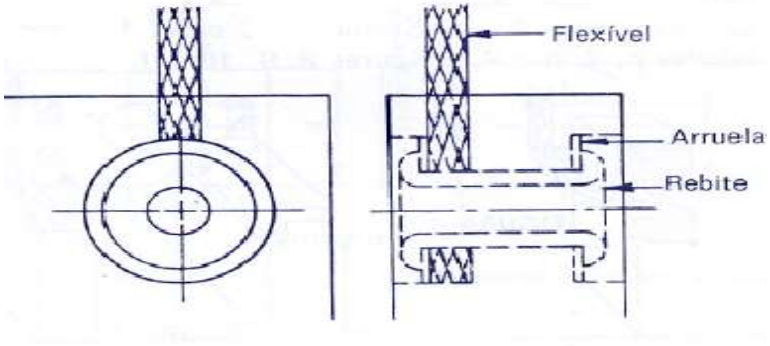


Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.2.3.2 Conexão com rebite

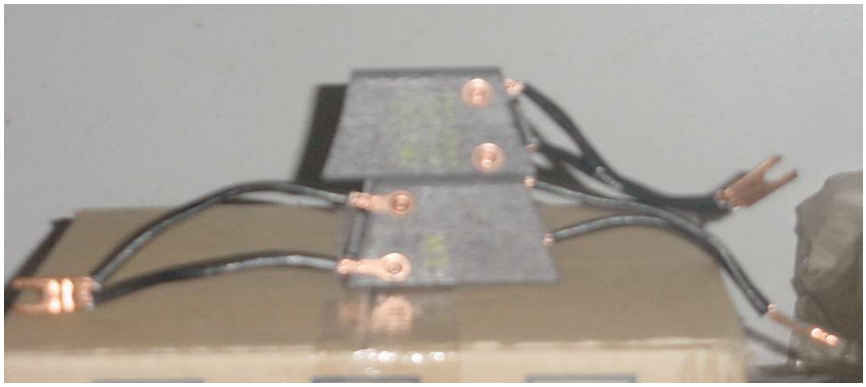
O rabicho é conectado através de rebites ao corpo da escova, como mostra a Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 – Conexão com rebite



Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

Figura 19 – Conexão com rebite, real

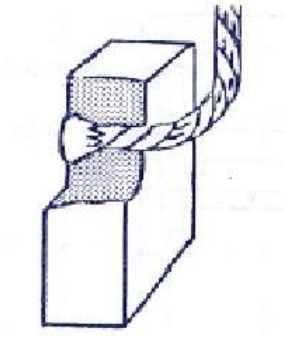


Fonte: Material próprio

2.2.3.3 Conexão com solda

Nesta conexão, o rabicho é fixado com solda branca à escova que previamente recebe um banho eletrolítico, onde é depositado uma camada de cobre sobre a escova, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Rabicho soldado

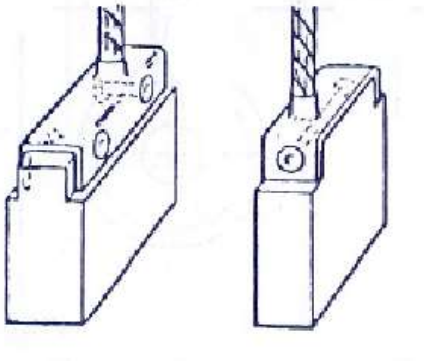


Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.2.3.4 Conexão com topo metálico

O rabicho é preso por solda no topo metálico da escova, e este topo metálico é acoplado por rebites a escova, assim como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Conexão do tipo topo metálico



Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

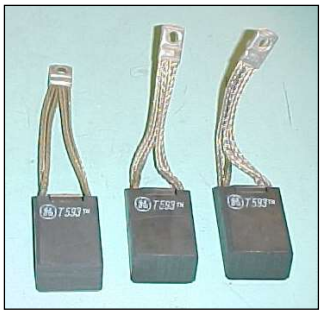
2.2.4 Terminais

São regulamentados pelas normas ABNT e IEC. O terminal fica no final do rabicho, na extremidade que faz a conexão com a parte fixa do motor CC. Os tipos mais comuns são:

- Terminal axial;
- Terminal de dupla conexão;
- Terminal bandeira;
- Terminal tubular.

Na Figura 22 é mostrado alguns tipos de terminais.

Figura 22 – Terminais

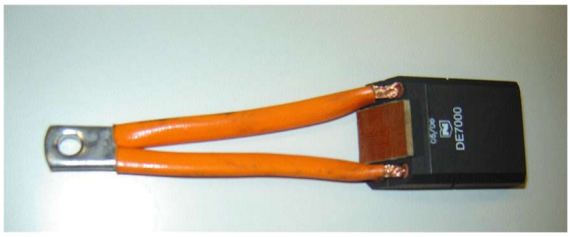


Fonte: Material próprio

2.2.5 Isolamento

Em muitos casos, para uma maior segurança contra contatos com partes metálicas do porta-escovas ou com o comutador, que podem causar eletro corrosão dos rabichos ou até mesmo curto circuitos, os rabichos podem ser isolados. Normalmente é utilizado um espaguete (de fibra de vidro ou porcelana), ou fibras espiraladas para este trabalho. A Figura 23 exibe um exemplo de rabicho isolado.

Figura 23 – Isolamento do rabicho



Fonte: Material próprio

2.2.6 Estribos

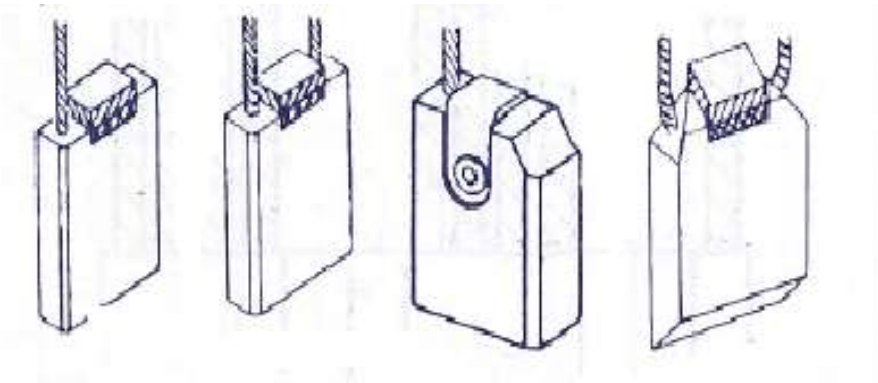
Feito ou não de material metálico, esse acessório especial de topo equipa muitas escovas. De acordo com a função, os estribos podem ser classificados como:

- Estribos de proteção;
- Estribos de distribuição de pressão;
- Estribos limitadores da vida da escova;
- Estribos com conexão.

2.2.6.1 Estribos de proteção

Utilizados em escovas muito macias, ou nas sujeitas a muita vibração. Sua função é evitar o desgaste da escova por parte do dedo de pressão do porta-escovas. A Figura 24 mostra como se apresenta um estribo de proteção.

Figura 24 – Estribos de proteção

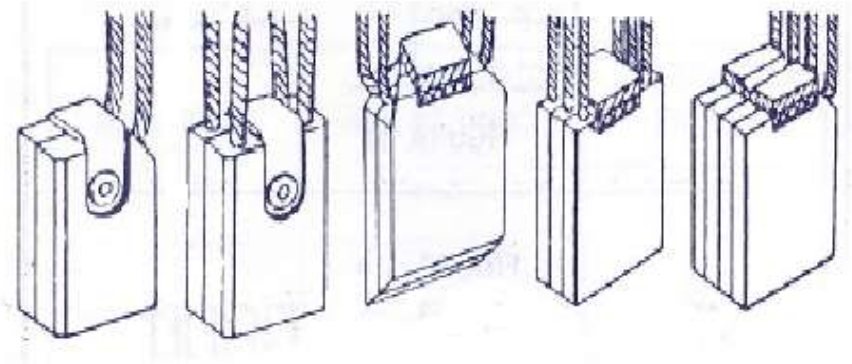


Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.2.6.2 Estribos de distribuição de pressão

Sua função é distribuir igualmente os esforços do dedo de pressão sobre cada uma das partes da escova. Geralmente utilizado em escovas duplas ou triplas. A Figura 25 mostra como se apresenta um estribo de distribuição de pressão.

Figura 25 – Estribo de distribuição de pressão

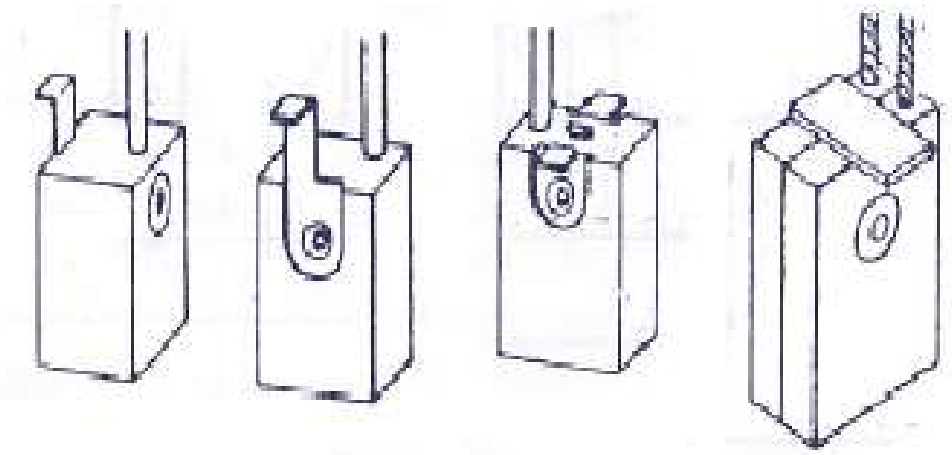


Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.2.6.3 Estribos limitadores de vida da escova

Sua função é determinar o limite máximo de uso da escova. Normalmente estendidos além das faces das escovas. Quando o estribo toca o fundo do rasgo nos porta-escovas, onde é encaixado, é sinal que a escova deve ser substituída. Na Figura 26 mostra como se apresenta um estribo limitador de vida.

Figura 26 – Estribo limitador de vida

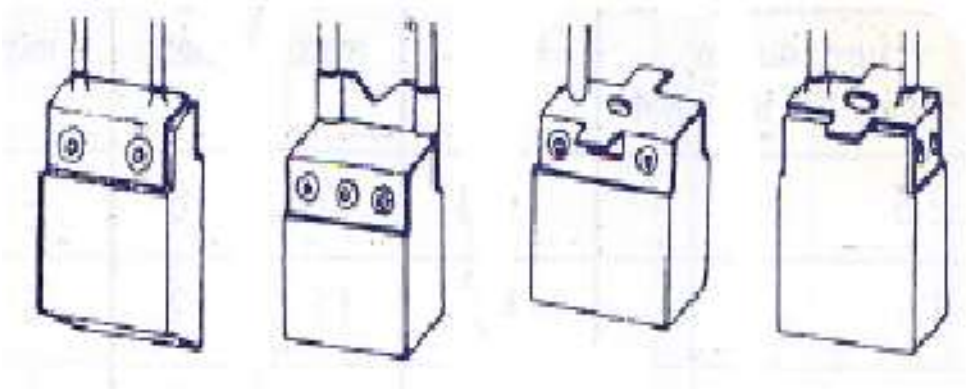


Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.2.6.4 Estribos com conexão

Em algumas escovas os rabichos são soldados em peças metálicas, e estas presas às escovas. Estas peças tem o nome de estribo de conexão. Na Figura 27 mostra como se apresenta um estribo com conexão.

Figura 27 – Estribo com conexão



Fonte: http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf

2.3 Principais tipos de escovas

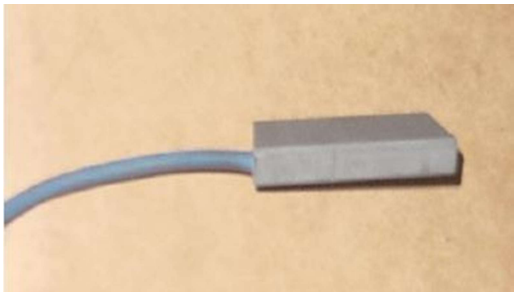
Os tipos de escovas mais utilizados atualmente são:

- Escova monobloco;
- Escova de carvão duplas e triplas;
- Escovas estriadas;
- Escovas para recondicionamento de comutadores;

2.3.1 Escova monobloco

A mais simples das escovas, utilizada em motores com poucas exigências elétricas e mecânicas. Um exemplo de escova monobloco está na Figura 28.

Figura 28 – Escova monobloco



Fonte: Material próprio

2.3.2 Escovas de carvão duplas e triplas

Para conseguir uma melhor performance, isso significa menores perdas e melhores condições de contato, utilizam-se as escovas duplas (compostas por dois monoblocos separados) ou tripas

(compostas por três monoblocos separados). Cada monobloco possui sua fonte própria de alimentação de corrente. Na Figura 29 há um exemplo de escova tripla.

Figura 29 – Escova tripla

Fonte: Material próprio

Os monoblocos que compõem as escovas não devem ser demasiadamente finos, pois podem se quebrar com facilidade. A espessura não deve ficar abaixo de 5 mm. Esta espessura também garante que se possa conectar os rabichos com segurança.

2.3.3 Escovas estriadas

Normalmente equipa-se máquinas de grande porte com escovas de face estriada, a fim de reduzir o tempo de funcionamento necessário para se obter um bom assentamento da escova e polimento do comutador.

Utilizando as escovas estriadas como reposição não precisa de lixá-las para haver um assentamento ideal no contorno do comutador e também diminui a possibilidade de dilaceramento da película superficial do comutador.
As escovas estriadas são altamente recomendadas para caso de formação de sulcos, pois estas escovas permitem um rápido assentamento e uma película mais uniforme. Quando suas estrias chegam no limite de uso não há necessidade de remoção da escova. Utiliza-se até atingir o se limite de condenação.

2.3.4 Escovas para recondicionamento de comutadores

A escova para recondicionamento de comutadores (ERC) é um instrumento de manutenção preventiva planejada para dar o melhor desempenho praticável ao equipamento rotativo. Por ser feita com matérias compatíveis com as outras escovas a ERC não estabelece limite a

capacidade operacional da máquina. Para reestabelecer os limites ao qual a máquina opera normalmente, a ERC assenta no porta-escovas do motor CC e a superfície do comutador ou anel coletor se torna uniforme, eliminando degraus ou excentricidades.

3 ASPECTOS QUE AFETAM O DESEMPENHO DAS ESCOVAS

3.1 Aspectos físicos

3.1.1 Umidade

A água tem fundamental influência na patina e é fornecida pelo ar ambiente. Pelo contrário, quando o ar é muito seco, os óxidos metálicos predominam na patina, existe um rápido desgaste das escovas devido um atrito elevado. Quando a umidade é menor que 2 g/cm³ as condições ficam ainda mais críticas, caso característico de:

- Máquinas de aviação, que funcionam em atmosfera seca de grande altitude;
- Máquinas com escovas fechadas em ambiente com gás de refrigeração seco (hidrogênio e azoto);
- Motores hermeticamente fechados.

3.1.2 Vapores ou gases corrosivos

Em meio úmido e mesmo em baixa concentração na atmosfera, eles destroem a patina. Assim como as escovas, os coletores ficam ranhurados e faíscam fortemente.

O cloro e suas derivações (solventes clorados), produtos de destilação a quente de silicone, amoníaco, anidrido sulfuroso, hidrogênio sulfurado, etc. Esses são os vapores ou gases mais nocivos.

Nesses ambientes, recorre-se às impregnações para que a patina continue em bom estado nas pistas de atrito, porém quando não são resolvidas totalmente, atenuam o problema.

3.1.3 Hidrocarbonetos

Quando os coletores, anéis e escovas são contaminados com óleos e seus derivados, acontece os seguintes problemas:

- Condensação de vapores provenientes de fontes quentes;
- Projeção pelo sistema de ventilação;
- Migração a partir de mancais não estanques.

Perturbando sempre o bom funcionamento do motor CC, os corpos graxos causam incidentes, dentre os mais frequentes são:

- Travamento da escova dentro do porta-escovas, devido a mistura pó de carvão/óleo;
- Degradação dos anéis e coletores devido ao deposito graxo, espesso e isolante sobre a pista de atrito. Isso causa uma repartição de corrente não equilibrada, realizando uma patina com profundas ranhuras ou faixas.

Deve-se tomar um cuidado especial quando é feita a manutenção com graxa nos rolamentos. Quando em excesso é expelida no rolamento, contaminando a região de comutação.

3.1.4 Poeiras

Os pós abrasivos e muito finos causam:

- Desgaste rápido das escovas;
- Desgaste e ranhuras no coletor do anel;
- Desgaste na caixa de porta-escovas e nas faces laterais das escovas. Existe as ranhuras anti-poeira que reduzem e algumas evitam esses problemas. A melhor atitude a ser tomada é filtrar o ar de ventilação.

3.1.5 Vibrações

O contato escova-comutador é comprometido. Ocorrem por vários motivos, tais como:

- Um coletor em mau estado ou deformado;
- Falta de balanceamento, alinhamento incorreto, rolamentos defeituosos;
- Atrito elevado ou variável proveniente de uma escova inadaptada, de um ambiente sujo, de uma patina ruim, de sub-cargas por um tempo longo, etc.

Pode existir ressonância devido ao sistema constituído pela escova, mola e porta-escovas. Normalmente leva a destruição da escova, ruptura do cabo e possivelmente do porta-escovas. Tudo isso pode ser minimizado ou eliminado, através da escolha das escovas com modulo de elasticidade diferente, de uma escova com amortecedor de borracha ou de silicone de uma escova dividida, de uma escova inclinada, de uma escova de qualidade superior e adaptada ao regime de funcionamento e à atmosfera ambiente.

3.1.6 Pressão

A pressão indicada para cada qualidade de escova localiza-se entre:

- Pressões baixas, necessárias para diminuir as perdas por atrito, porém ocasionam o faiscamento, assim tendo um maior desgaste elétrico nas escovas.
- Pressões elevadas, diminuindo as perdas elétricas nas escovas, porém aumentando o atrito, assim aumentando o desgaste mecânico.

Para aplicações particulares (tração, pequenos motores, etc.) usa-se pressão elevada devido as fortes vibrações, mas é recomendado o uso de escovas especialmente tratadas.

Para anéis coletores, as pressões nas escovas devem coincidir ou serem muito próximas, para garantir uma ótima repartição de corrente.

É altamente recomendável o uso de um dinamômetro para fazer verificações periódicas. Para um porta-escovas onde a pressão se altera de acordo com o desgaste da escova, recomenda-se reagrupar por polaridade escovas de mesma altura, especialmente em máquinas essenciais.

3.1.7 Folgas

Geralmente os porta-escovas devem ser regulados à uma distância entre 2 e 3 mm do coletor ou do anel, para evitar a inclinação e a instabilidade durante a operação.

3.2 Aspectos operacionais

3.2.1 Escovas quebradas ou lascadas

Lascas na face de contato podem ser causados por desnivelamento dos comutadores tais como lâminas altas. Na hipótese de rompimento das escovas em várias partes, isso é indicio que foram submetidas a vibrações de alta frequência, advindas de trepidações. Funcionamento em baixa carga é a origem mais possível e nesta situação, pode-se cogitar em mudar a granulação da escova.

3.2.2 Desgaste desigual de escovas

É uma manifestação de pressões diferentes nas escovas o que pode ser reparado. Averiguar se não foram usadas várias granulações.

3.2.3 Cisalhamento do rabicho

Pode originar de um funcionamento com baixa carga, fazendo que o rabicho seja cisalhado na saída da escova. Isso é bastante perigoso podendo fazer com que o rabicho quebrado toque a carcaça do motor e acarrete em um aterramento ou flashover. Utilizando rabicho de cobre reforçado com aço pode reduzir esses cisalhamentos.

3.2.4 Rabicho solto

As conexões rebitadas ou socadas podem se folgar por causa de vibrações. Deve-se fortalecer a conexão socada utilizando um composto especial. A conexão perfeita deve ter a mesma vida útil da escova. Conexões folgadas provocam flashovers.

3.2.5 Conexões superaquecidas

O superaquecimento das conexões as vezes é seguido por um superaquecimento no rabicho. A causa possível é uma conexão malfeita o que deve ser comunicado imediatamente ao fabricante da escova.

3.2.6 Escovas presas

Isso pode ser ocasionado por cotas de escovas com dimensões maiores, por porta-escovas com dimensões superiores ou inferiores, ou por alguma circunstância inadequada que causou mudança nas dimensões dos porta-escovas. Outra circunstância recorrente é a sujeira acumulada dentro do motor. Ocasionalmente existe a necessidade de alterar as entradas de ar para sanar este problema.

3.2.7 Mistura de granulação de escovas

Deve-se ter uma grande atenção para impedir a mistura de escovas com diferentes granulações no motor. Muitas granulações, sendo ou não do mesmo fabricante, não possuem as mesmas propriedades. Isso pode até danificar o comutador.

3.2.8 Erosão excessiva da face da escova em contato com o porta escovas

Isso acontece normalmente pela passagem de corrente entre as faces da escova e as paredes do porta-escovas. Esse evento é repetido com escovas sem rabicho. Caso ocorra em escovas com

rabicho pode revelar uma alta resistência de contato, escova-rabicho ou entre terminal do rabicho e o porta-escovas.

3.2.9 Vitrificação da face de contato da escova

É uma decorrência do funcionamento em baixa carga que faz com que a superfície de contato da escova transforme-se em muito polida, evento chamado de "vitrificação". Porém a vitrificação não faz com que a escova se quebre.

3.2.10 Desgaste excessivo das escovas

Pode haver desgaste por parte elétrica ou mecânica. A circunstancia mais plausível é a má comutação, que pode originar-se do próprio projeto do motor ou do ciclo de trabalho. A substituição da granulação pode amenizar e até mesmo a resolver este problema. Do ponto de vista mecânico, um comutador em mau estado trará consequentemente um desgaste acima do normal das escovas, mas não obrigatoriamente em todas as pistas.

Velocidades acima do permitido criam um problema e podem avariar o comutador. Excessivo acumulo de pó de carvão dentro do motor tem que ser evitado, senão podem aparecer problemas de isolamento que assim podem forçar a refazer o enrolamento.

3.2.11 Ataque do cobre

Origina-se normalmente de uma escova que não forma filme na superfície do comutador. Pode ocasionar em desgaste importante do comutador. A substituição de granulação deve ajudar.

3.2.12 Riscos no comutador

O comutador se parece com uma rosca fina. Provavelmente é outro sinal de uma escova impossibilitada de formar patina. As razões podem ser um funcionamento a baixa temperatura ou baixa densidade de corrente. Substituir a granulação ou retirar algumas escovas pode solucionar o problema. Ocorre, ocasionalmente, que um motor que trabalhou bem, durante algum tempo, começa a exibir problemas. As razões normalmente são:

- Diminuição da carga elétrica. Os motores não são utilizados por um tempo prolongado.

- Mudanças nos aspectos físicos, devido à queda da umidade. Caso a taxa de vapor de água fique abaixo de 15 g/cm³, pode ocorrer deterioração, porém isso acontece somente em condições extremas.
- Elevado vapor de óleo pode causar uma degradação da superfície.

3.2.13 Lâminas marcadas

Muitos motores exibem marcas nas lâminas. Em geral tem-se um arranjo regular de lâminas claras e lâminas escuras. O intervalo entre uma lâmina escura e uma outra é uma função dos números de ranhura/bobinas. Frequentemente a lâmina escura é a última bobina da ranhura a ser comutada. Lâminas marcadas surgem em seguida a entrada em operação das máquinas estabilizando-se sozinhas. Na hipótese de não queimar a lâmina, este problema não é muito grave.

3.2.14 Queima de lâminas

É capaz que seja a etapa mais avançada da lâmina marcada. A queima pode expandir-se às lâminas vizinha e indica faiscamento das escovas. Uma troca no desenho da escova pode ser analisada, ou também uma troca na granulação.

Um outro modo de queima das lâminas refere-se a corrente elétrica pela abertura (distância entre porta-escovas e comutador). Isso indica que uma corrente densa atravessou as escovas enquanto o comutador estava parado, e isso advém de uma potência aplicada em motores de tração com freios acionados

3.2.15 Formação de parte plana no comutador

Caso seja propício ao evento de queima progredir, a situação pode ficar pior a ponto de gerar uma séria erosão no cobre. No momento que essas lâminas passam embaixo das escovas, surge um faiscamento importante e vai ficando pior. Caso não exista um recondicionamento do comutador pode ocorrer um flash.

3.2.16 Copper dragging

Não é totalmente conhecido como o *copper dragging* se desenvolve, porém a camada superior do comutador "flui" de certo modo que prolonga além da borda da lâmina. Uma fagulha de cobre forma-se ao longo da borda de saída na lâmina, em condições extremas. O *Copper*

dragging é associado, normalmente, ao trabalho com baixa carga. A solução é trocar para uma granulação mais apropriada. O chanframento das lâminas também pode ajudar.

3.2.17 Mica saliente

Umas quinas de mica podem aparecer, caso esteja bem fresada. Essas quinas prejudicam o trabalho suave das escovas e o faiscamento aparece, as queimas podem acontecer regularmente sobre toda lâmina. O remédio é sempre manter o comutador bem manutenido. Esse problema também pode aparecer quando o comutador está bem desgastado.

3.2.18 Lâmina alta

Aparecem no início da vida de um rotor e pode lascar as escovas e queimar o comutador. A lâmina alta pode ser uma má estabilização do comutador durante a fabricação. Ultrapassar a velocidade limite nos motores podem fazer acontecer este fenômeno.

3.2.19 Desgaste excessivo das caixas de porta-escovas

Demasiado desgaste tem como fruto um alojamento deficiente das escovas. Isso é grave para as escovas radiais instaladas nos motores. Folga grande resulta instabilidade da escova, má superfície do comutador, má comutação e prováveis flashes.

3.2.20 Excesso de graxa

Graxa em excesso contribui para criação de curto entre as lâminas, pode também impedir a formação de um bom filme. A graxa em excesso que normalmente se concentra no mancal, pode penetrar dentro do motor e formar um filme isolante sobre a superfície do comutador e na superfície de isolamento e, assim sendo, reduzir minimamente a resistência de isolamento do motor.

3.2.21 Superaquecimento das molas do porta-escovas

Esse fenômeno se dá a passagem de corrente através das molas do porta-escovas, isso deve ser evitado, senão, a mola pode perder suas propriedades e diminuir sua pressão. Aquecimento produzido pelo calor gerado nas escovas.

3.3 Aspectos elétricos

3.3.1 Comutação

Esse assunto envolve um conjunto de condições cujo ligação é difícil para determinar experimentalmente, e também para analisar, a não ser por aproximação matemática. Apesar de que um tratamento detalhado em todas as fases deste assunto seja importante para a finalidade deste documento, alguns princípios elementares envolvidos estão presentes para oferecer um entendimento referente as escovas e do que seja preciso fazer.

Comutação é a capacidade do motor CC tem de trabalhar sem interferência elétrica entre as escovas e o comutador, permitindo a passagem da corrente elétrica sem efeitos negativos. As tolerâncias magnéticas, mecânicas e elétricas fazem o papel essencial na comutação que são comprovadas pelo faiscamento visual, aparência do comutador e desgaste da escova. A competência para comutar devidamente será comprovada pela forma correta do filme mostrado no comutador. Este filme definirá a vida e a longevidade do comutador e motor em geral.

Na maioria das vezes existe variações muito pequenas de motor para motor devido a tolerâncias normais de fabricação. As escovas são capazes de compensar essas pequenas variações. Esta é essencialmente a função da característica de comutação do material das escovas para comutar mesmo que haja interferências magnéticas, mecânicas ou elétricas.

Isto é devido ao fato de termos muitos tipos e graus de qualidades diferentes de escovas para cada tipo de aplicação. Escovas são constantemente redesenhadas para melhorar a eficiência da comutação e a durabilidade. Desde sempre, o tipo e o grau das escovas usadas nos motores CC tem sido redesenhado para melhorar a comutação e para diminuir o nível de desgaste.

3.3.2 Comutação ineficiente e eficiente

Quando acontecer de um motor de tração não ser recuperado ou fabricado com as especificações originais, resultará em uma comutação ineficiente. Outra condição de comutação ineficiente é devido as bobinas de campo ou interpolo não estão corretamente acomodadas, ou os porta-escovas não estão colocados e ajustados corretamente.

3.4 Ilustrações das condições do comutador

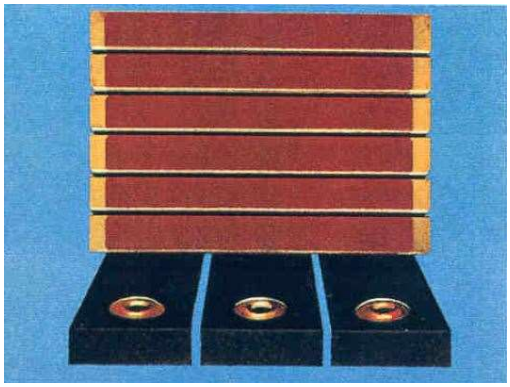
O comutador é o melhor indicador para a saúde do motor. Se conseguir interpretar a superfície do comutador, você pode, em muitas ocasiões, determinar se tem uma desordem mecânica ou fragilidade elétrica no regime de trabalho do motor, pode até indicar uma desordem que já foi corrigida sem intervenção de manutenção.

Então as figuras mais abaixo contêm algumas condições de superfície típicas, que poderão ser vistas em seus comutadores.

3.4.1 O filme ideal na superfície

Este é o filme ideal para a superfície do comutador. A marca que revela um comutador perfeito para uso é um filme com polimento médio e cor uniforme, de acordo com a Figura 30.

Figura 30 – Filme em comutador

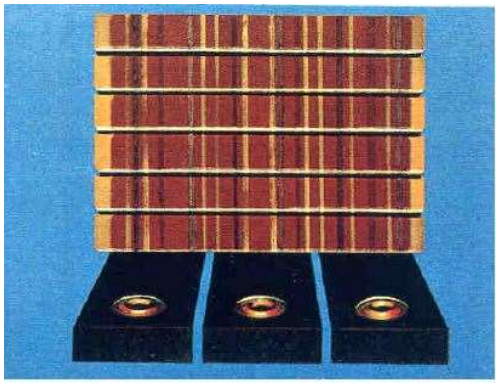


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.2 Riscos

Somente riscos, não são problemas, porém como apresentado na Figura 31, o motor deve ser acompanhado para ter certeza que eles não piorem para uma condição incômoda.

Figura 31 – Riscos em comutador

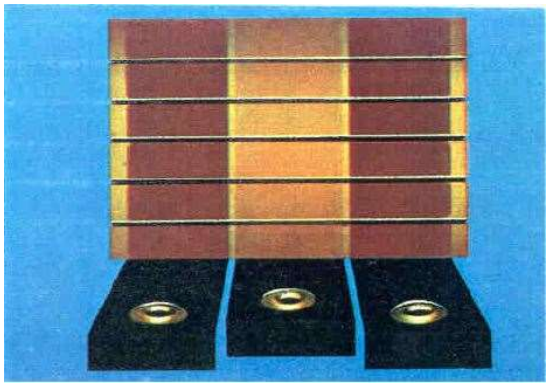


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.3 Faixas

As faixas podem ser identificadas por diferentes tons de cor em pistas de escovas adjacentes. Na Figura 32, contém três escovas, a do centro com uma faixa mais clara que as outras, isso significa que o filme da pista do meio estava desfeito e a ação da escova havia permitido um uso anormal. Usualmente pode-se evitar este problema de faixas evitando pequena umidade, velocidade de polimento muito alta, poeira e comutação pobre.

Figura 32 – Faixas

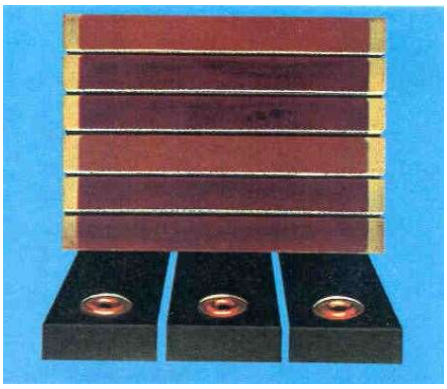


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.4 Série de faixas regulares (*pattern*)

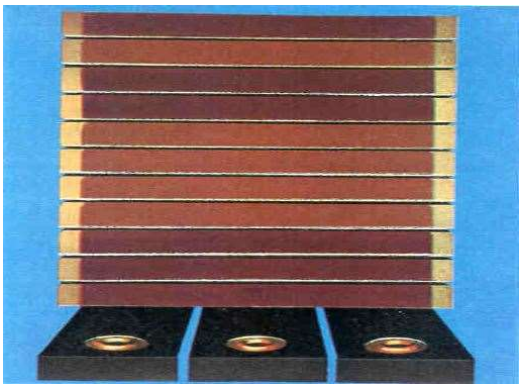
Barras de tonalidade diferente pode aparecer no comutador em um padrão repetido regularmente. Como exemplo temo as Figura 33 que apresenta um padrão uma barra clara e duas escuras. Pode-se também ter um padrão aleatório como apresentado na Figura 34. Essas condições são denominadas de "*pattern*". Uma "*pattern*" regular correlaciona normalmente com o número de espiras por ranhura, por outro lado uma "*pattern*" aleatória tem relação com irregularidades internas secundarias no motor e não com o número de espiras por ranhura.

Figura 33 – Pattern



Fonte: National Electrical Carbon

Figura 34 – Pattern



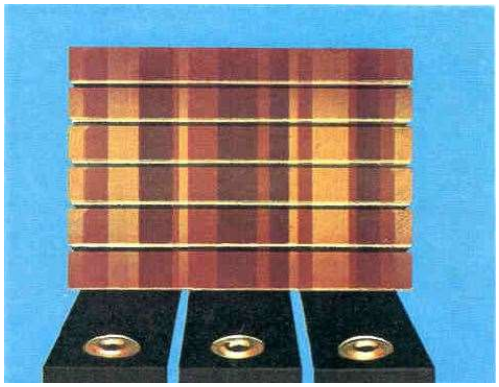
Fonte: National Electrical Carbon

3.4.5 Conjunto de faixas

As tonalidades de cores das faixas são diversificadas e as faixas são estreitas. Esta situação se parece muito com riscos e faixas na aparência. Usualmente os conjuntos de faixam aparecem durante o primeiro filme após o recondicionamento do comutador e desaparece mais tarde. Porém, se o motor trabalha em atmosfera oleosa, pode resultar em conjunto de faixas, e deve-

se tomar uma ação para corrigir este problema. A Figura 35 apresenta um comutador com conjunto de faixas.

Figura 35 – Conjunto de faixas

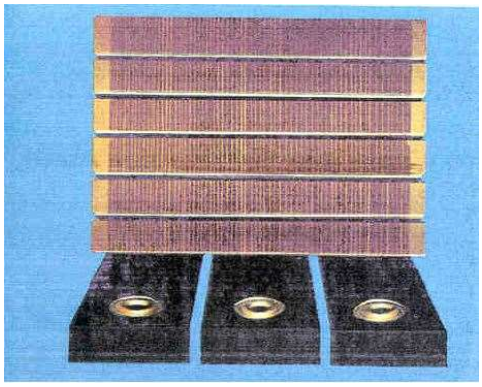


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.6 Filetes

Uma quantidade pequena de filete não é problema porem se existir vários filetes e forem profundos podem causar perda de cobre considerável do comutador e exigem correção. A Figura 36 apresenta o problema de filetes no comutador.

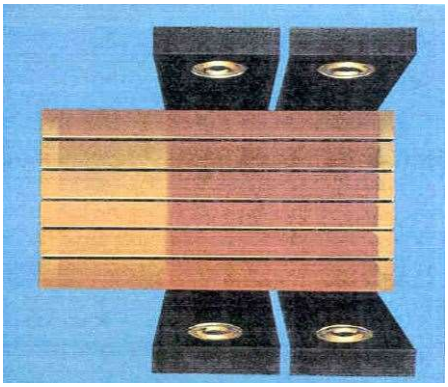
Figura 36 – Filetes



Fonte: National Electrical Carbon

Este problema origina um filme extremamente escuro, e que perfuram o comutador e também estimulam partículas de cobre encrostarem na face da escova. O motor que tem escovas de eletrografite e que operam com uma intensidade de corrente muito baixa, tem grande possibilidade de originar filetes. Para sanar esse problema podemos retirar as escovas de uma pista de forma que a largura total do filme da escova no comutador seja o limite, visto que a carga é estabilizada e conhecida. Figura 37 contém filetes, porém com uma escova a menos.

Figura 37 – Filetes, escovas reduzidas

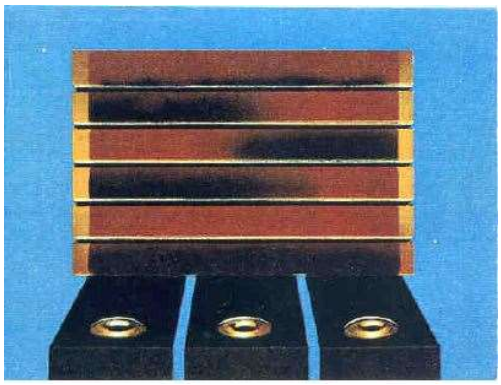


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.7 Fuligem ou sujeira

Fuligem pode cobrir completamente ou parte das lâminas. Caso não exista formação de sulcos sob a fuligem, não é preciso parar a operação do motor, pode ser utilizado sem restrições. Para verificar a existência de sulcos, esfregue até sair uma parte da sujeira com uma borracha de lápis comum. Porém, fique atento, pois a fuligem geralmente prenuncia problema. Tem-se que definir a origem da fuligem, se esta é passageira ou causada por uma sobrecarga temporária. A Figura 38 é um comutador que apresenta fuligem ou sujeira.

Figura 38 – Fuligem ou sujeira



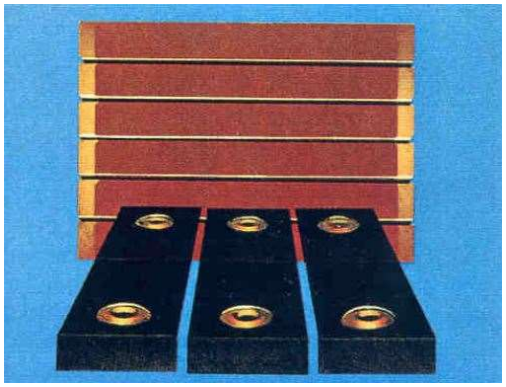
Fonte: National Electrical Carbon

3.4.8 Excelente polimento

É muito ruim que a superfície do comutador esteja muito polida. Uma causa provável para que a superfície do comutador chegue a este estado são as escovas operando muito abaixo da fricção ideal. A confirmação decisiva é o trepidamento da escova e a solução é remover contaminações

se presentes, aumentar a quantidade de corrente ou mudar o grau de qualidade das escovas. A Figura 39 é um exemplo de comutador com excelente polimento.

Figura 39 – Excelente polimento

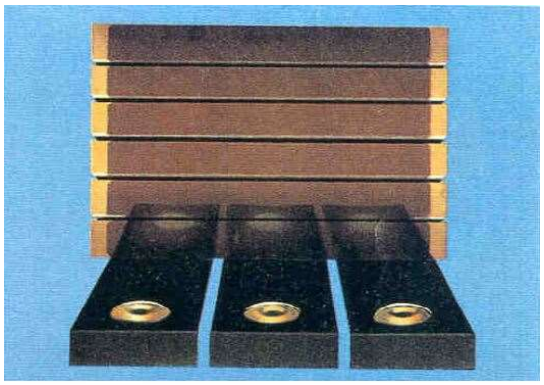


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.9 Polimento sombreado

O trilho da escova reflete uma imagem imprecisa da escova, porta-escova e rabichos. Esta particularidade de sombreamento geralmente é ligada com um filme escuro e acontece simultaneamente com alguns aspectos tipicamente adversos com queimaduras de lâminas e manchas claras. A Figura 40 representa o polimento sombreado e é indicação costumeira de uma condição indesejável do comutador.

Figura 40 – Polimento sombreado



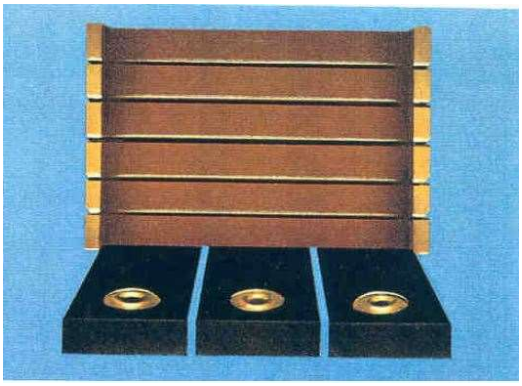
Fonte: National Electrical Carbon

3.4.10 Abertura de ranhuras

Escovas demasiadamente abrasivas, muita poeira no local de trabalho, muito faiscamento ou perda de filme do comutador são causas desta condição conhecida como abertura de ranhuras. Quando o problema não é a poeira, mudar o grau das escovas pode ser a solução. Para o caso

de poeira, enclausure o motor e forneça ar limpo. A Figura 41 nos mostra a condição de abertura de ranhuras no comutador.

Figura 41 – Abertura de ranhuras

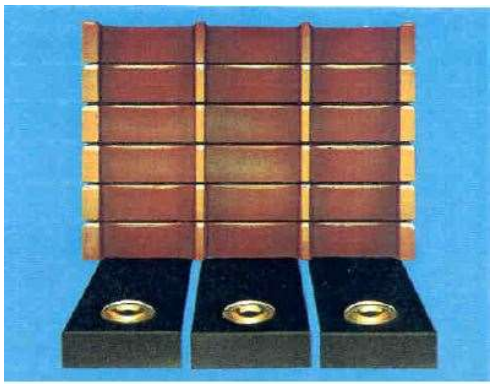


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.11 Saliências

Muito similar as ranhuras, as saliências são os cumes que salientam mais que as pistas das escovas. Essa condição surge quando as escovas estão alinhadas em uma configuração não escalonada. As causas são as mesmas para a abertura de ranhuras e o tratamento corretivo também é o mesmo. A Figura 42 exibe um bom exemplo dessa condição.

Figura 42 – Saliências

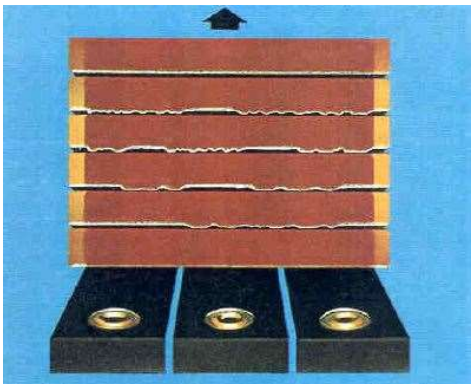


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.12 Arrastamento de cobre

Com causa incerta, porém, a maioria dos especialistas concordam que este é um fenômeno mecânico proveniente de vibrações das escovas. A caracterização desta condição se dá devido ao deposito de cobre estendendo através das bordas das lâminas do comutador indo para zona do entalhe. Isto pode ocorrer em regime de carga suave. Este problema pode ser evitado substituindo as escovas com um grau capaz de formar filme com rapidez. A Figura 43 exibe um exemplo de arraste de cobre.

Figura 43 – Arraste de cobre

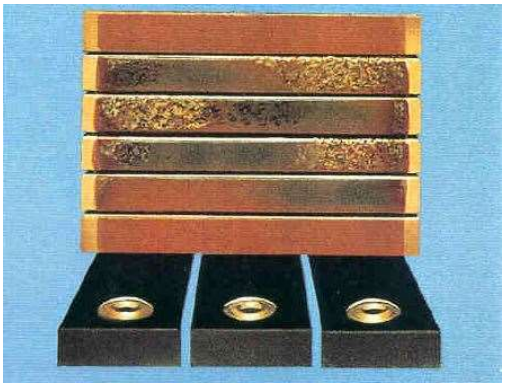


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.13 Manchas horizontais

Problemas elétricos ou mecânicos causam manchas horizontais em lâminas individuais, que são um grande problema. Figura 44 exibe o problema de manchas horizontais.

Figura 44 – Manchas



Fonte: National Electrical Carbon

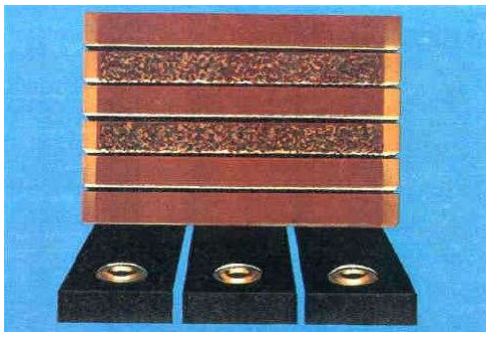
Como vê-se, a pista da escova está alongada horizontalmente e podem existir queimaduras. Faixas horizontais ampliam-se com o tempo, sendo preciso isolar e tratar a causa fundamental

para a correção ser realizada. Este problema não pode ser solucionado, apenas prevenido. Para prevenir este problema deve-se selecionar um grau de escovas com melhor comutação ou pela forma de construção da escova. Toda condição ruim de comutação pode ser corrigida, passando pedra pome no comutador ou conserta-lo de outro jeito antes de reinstalar novas escovas.

3.4.14 Lâminas com face queimada

A lâmina fica áspera pelo faiscamento e uma quantidade indefinida de lâminas pode ser afetada. Dificuldade mecânica ou, possivelmente problemas elétricos como sobrecarga ou ajuste mal feito são responsáveis por isso. É necessário que busque o motivo do faiscamento e elimine-o para a saúde do motor. A Figura 45 mostra um exemplo de face queimada.

Figura 45 – Face queimada

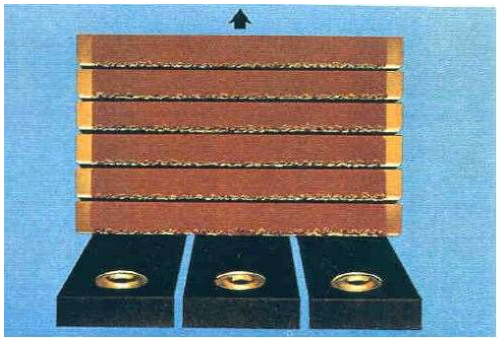


Fonte: National Electrical Carbon

3.4.15 Lâminas com cantos queimados

A lâmina fica áspera nos cantos. Lâminas com cantos queimados é um problema que se deve dar muita atenção, pois pode prejudicar todas as outras, ou parte, das lâminas e é causado por faiscamento. Para extinguir o faiscamento deve-se trocar o grau da escova. A Figura 46 exibe lâminas de comutador com cantos queimados

Figura 46 – Cantos queimados



Fonte: National Electrical Carbon

3.4.16 Condição da superfície do comutador

Quando as escovas estão com excelente contato com o comutador, o comutador deve estar mecanicamente correto e ter uma excelente aparência de polimento.

A superfície do comutador muda em relação a sua aparência. Para uma boa comutação, um filme de óxido de carbono no cobre é essencial. Temperatura, grau de escova, atmosfera e variação de carga são alguns fatores que influenciam neste filme. A corrente flui pelas escovas, uma ação químico-elétrica acontece com um grupo de escovas que fazem o filme enquanto outro grupo de polaridade contraria tenta desfazer. Quando o filme já está formado e mantido, o desgaste do comutador e escovas é lento. Alterações na cor do cobre para marrom escuro não são causa de preocupação desde que a superfície seja lisa e polida.

3.4.17 Conjunto comutador

Apenas para recordação, o comutador não é uma peça sólida, mas é feito por muitas seções de cobre e mica seguros entre partes de aço, é fácil perceber que é praticamente impossível manter a superfície perfeita.

Se a superfície do comutador ficar ovalizada ou excêntrica, as escovas movimentam-se nos porta-escovas. As escovas seguem a superfície desde que a pressão da mola possibilite o contato com o comutador. Quando a superfície se torna ondulada, as escovas devem responder mais ligeiramente para manter o contato. Em velocidade maiores, a condição de ovalização e excentricidade provavelmente causarão perda de contato das escovas com o comutador.

Quando a superfície é totalmente destruída, ou quando a uma ou mais lâminas afundam abaixo da superfície devido uma pancada no comutador, a alteração no passo é imediata que as escovas não podem seguir. As escovas passam sobre o ponto e provavelmente batem na superfície lesada causando uma fratura, é o grau de velocidade de mudança que define se as escovas podem continuar na superfície. Quando não podem, exibem faiscamento no local e a superfície do comutador fica áspera e queimada, isso prossegue e transforma em um *flashover* e mais tardar danifica o comutador.

Sabendo que mais de 8.000 lâminas passam pela face das escovas por segundo a uma velocidade de 112km/h, é fácil notar os efeitos no momento em que as superfícies do comutador estão causando problema. Escovas passam por locais problemáticos, que geram arcos e com o passar

do tempo corroem a superfície. O grau de desgaste das escovas também é influenciado e é uma causa de *flashover*.

Quanto motores são utilizados em regimes muito pesados, também é percebido *flashover* mesmo se as escovas foram trocadas a pouco tempo e sem nenhuma explicação para a ocorrência. Porém quando é feita uma verificação mais a fundo, nota-se que as novas escovas são aplicadas e não assentadas, possibilita que o contato da ponta da escova não seja o bastante e impede a escova de repousar por inteiro no comutador. Impactos no desempenho do motor normalmente são reduzidos ao se trocar todas as escovas ao mesmo tempo e fazer assentamento em um tempo relativamente curto. Todavia, quando o jogo completo de escovas é trocado e isso pode causar o *flashover* se o motor chegar a velocidades altas antes das escovas assentarem totalmente. O uso de uma "pedra de assentamento" reduzirá o problema, esta pedra dará o contorno do comutador à escova e proporcionará o contato total com o comutador, entretanto não é fácil de instala-la nos motores de uma locomotiva sem levanta-la.

3.5 Flashover

O *flashover* é um curto-circuito elétrico simples sobre a superfície do comutador porta-escovas.

Graças uma condição de operação abusiva ou irregular os geradores de tração e motores dão *flashover*. Caso a operação seja regular e dentro dos parâmetros adequados, este fenômeno não acontece.

Com uma manutenção preventiva adequada, pode-se prevenir a quantidade da ocorrência do *flashover,* assim reduzirá os custos com manutenção corretiva e aumentará a confiabilidade da locomotiva.

3.5.1 Principais causas de *flashovers*

Condições de defeitos que afetam com a ação de chaveamento correto (comutação) e a origem do faiscamento.

- Rápida mudança e elevada carga, usualmente é erro de operação, do equipamento de controle, ou método de operação inadequado. A reversão de direção da locomotiva antes de parar totalmente é um exemplo.

- Falta de balanceamento dinâmico, vibração de peças soltas ou desgastadas ou deslocamentos acentuados causado por fazer uma passagem de nível em alta velocidade
- Superfície do comutador ineficiente como manchas na superfície, excentricidade, perda do filme de comutação, lâminas altas ou baixas, mica alta, etc.
- Escovas quebradas, gastas ou com grau de qualidade incorreto.
- Escovas no comutador com posição errada.
- Molas dos porta-escovas com tensão inadequada.
- Conexões folgadas ou soltas no circuito principal.
- Erro de enrolamento da armadura, enrolamento do interpolo ou campo. Isto pode ser bobinas com curto-circuito, circuito aberto, aterramentos, ou alta resistência das conexões.
- Uso de calços não adequados embaixo do polo ou polos principais invertidos.
- Aquecimento das escovas por densidade de corrente elevada.

A Figura 47 mostra um exemplo de avaria por *flashover*.

Figura 47 – Avaria por *flashover*

Fonte: Eletro Motive Division – General Motors

Existem diversas e as mais variadas causas de faiscamento, como já mencionado. Se a causa é devidamente diagnosticada e a falha fundamental é determinada a fonte primaria é possivelmente corrigida.

Condições que podem causar um *flashover:*

- Mudança súbita de carga e mudança de rotação brusca. Por exemplo, se um motor *flashear*, o pico de corrente alto pode ocasionar um *flashover* no gerador DC também.

- Perda de contato entre o comutador e as escovas. Isto pode ser causado por choques mecânicos repentinos, condição da superfície do comutador, mola fraca no porta-escovas, comutador ovalizado, escovas pequenas, condições dos trilhos ruins ou lâminas altas.
- Acumulação de poeira entre as lâminas. Isso pode ser poeira de prata e cobre que vem do torneamento ou jateamento do comutador ou poeira de carbono das escovas.

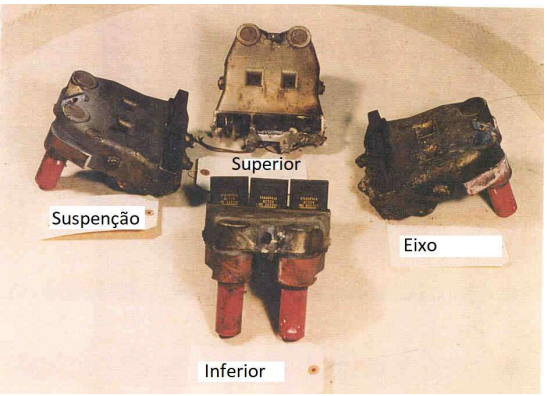
3.5.2 Efeitos de um *flashover*

Não importa o motivo de um *flashover*, o resultado é uma grande explosão. Testes indicam que o dano está diretamente ligado a dois fatores: duração da queima do arco e voltagem da máquina na hora do evento. A duração da queima é o mais relevante, ou seja, quanto mais tempo a duração de queima do arco maior o dano causado. Em operação normal a corrente passa pelo caminho mais curto (resistência mais baixa), por causa disso a corrente no momento do *flashover* encontrará o caminho para outras partes da máquina. Durante o *flashover*, o espaço que envolve o comutador é preenchido com chamas e gases condutores. Estes atingem os porta-escovas e toda parte da carcaça do motor. A corrente não causa só curtos-circuitos na superfície do comutador, mas também vai para outras direções.

A corrente também pode fluir do porta-escovas para a carcaça e voltar para o porta-escovas, a prova disto é que existem manchas de queimadura na carcaça. Ela pode passar do comutador para o anel de aço V do comutador e depois para o eixo de rolamento da armadura. Esta é o motivo da corrosão elétrica dos rolamentos e pistas. Isolamento dos porta-escovas pode ser danificados, fitas de amarração queimadas, carcaça e porta-escovas serem corroídos por minúsculas partículas em altas temperaturas. Caso graxas e poeiras estejam presentes, pode ocasionar fogo. Porém, rapidamente a corrente flui para Terra, o relé terra quase que instantaneamente reconhece essa situação e desarma. Esta proteção previne danos maiores e futuros. O relé remove a excitação do gerador principal, ocasionando a queda da corrente de carga para aproximadamente zero. Logo o *flashover* finaliza e também suas consequências destrutivas.

Na Figura 48 representa um porta-escovas danificado por um *flashover*.

Figura 48 – Porta-escovas danificado



Fonte: Eletro Motive Division – General Motors

3.5.3 Ações corretivas

Não se pode dizer que funciona como se fosse mágica para extinguir as ocorrências de *flashover*, e sim um simples passo a passo de manutenção que irá prevenir vários eventos.
Apenas lembrando, *flashover* são causados por:

- Mudança súbta e excessiva de carga → Pode ser evitado pela operação correta da locomotiva e uma boa manutenção
- Perda de contato → Pode ser minimizado por uma manutenção preventiva e inspeção regular
- Poeira → Pode ser evitado com uma aeração bem-feita.

Olhando bem esses pontos muitos problemas de *flashover* deixarão de aparecer.

3.5.4 Manutenção preventiva

Os equipamentos rotativos elétricos utilizados em uma locomotiva diesel elétrica necessitam de uma atenção especial para continuar a operação eficiente, mas, necessita do tipo de cuidado certo, no tempo certo e no lugar certo.

A manutenção inteligente guia para a perfeita experiencia, conhecimento do equipamento e a destreza para identificar problemas antes deles aparecerem e estenderá para disponibilizar grandes lucros precavendo contra grandes problemas e caros reparos. Assim vemos o fenômeno do *flashover*, uma simples manutenção preventiva poderá extingui-los.

4 ESTUDO DE CASO

Neste estudo de caso será abordado o desgaste excessivo das escovas dos motores GE 761, que equipam as locomotivas diesel elétricas Dash 9, produzindo trocas a mais, além de vários modos de falhas dos motores que podem levar até ao reboque da locomotiva, com graves consequências para a ferrovia em que a locomotiva opera.

Na Tabela 1 mostra os dados do motor que será estudado.

Tabela 1 – Dados do motor GE 761

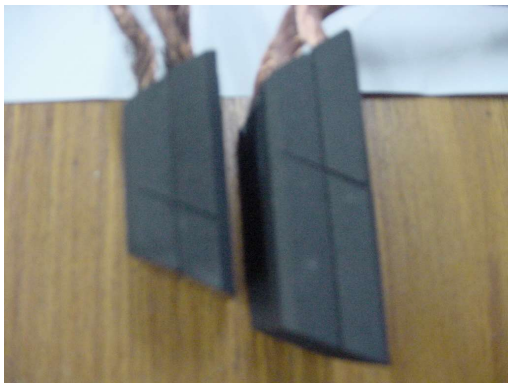
Potência de entrada	304 KW
Tensão	430 V
Corrente	705 A
Velocidade	640 RPM
Esforço de tração	4545 Kgf
Relação de transmissão	93/18
Diâmetro da roda	914,4 mm
Peso do motor	1900 Kg
Excitação	Série
Número de polos	4

Fonte: http://www.railbrasil.com.br/motor-ge761a23

4.1 Determinação da causa da falha

Na Figura 49 vê-se a diferença entre uma escova nova e uma escova que já está próxima da substituição.

Figura 49 – Diferença da escova gasta e nova



Fonte: Material próprio

Uma vez que o desgaste excessivo das escovas aumenta o número de trocas por ano, e que a troca das escovas de todos os motores demanda a imobilização da locomotiva em oficina

apropriada e uma mão de obra equivalente a dois homem-hora, o custo de manutenção da locomotiva sofre um aumento significativo.

4.1.1 Causa do superaquecimento das escovas

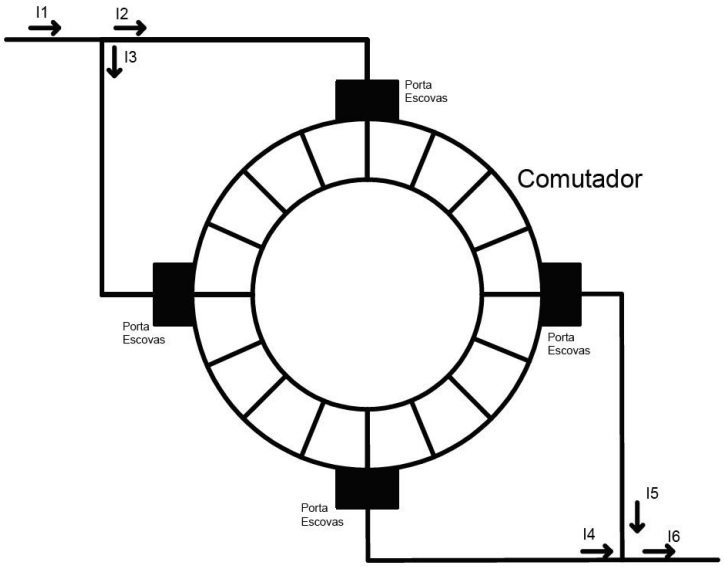
Para verificação da condição do superaquecimento, foi feito um cálculo para medir a densidade de corrente aplicada as escovas.

- Corrente nominal aplicada ao motor, $I_1 = 705\ A$.

Vemos da Figura 50 que o circuito de ligação dos porta escovas possui dois caminhos para a corrente nominal do motor, portanto:

- Corrente por porta escovas → $\boldsymbol{I_2 = I_3 = \frac{I_1}{2} = \frac{705}{2} = 352,5\ A}$ (1)

Figura 50 – Esquema do comutador e porta-escovas



Fonte: Material próprio

Sabendo que cada porta escova acondiciona 2 escovas, pomos escrever:

- Corrente por escova → $\boldsymbol{I = \frac{I_2}{2} = \frac{I_3}{2} = \frac{352,5}{2} = 176,25\ A}$ (2)

Tomando a medida da seção transversal da escova original como $A = 7,3\ cm^2$, podemos calcular a densidade de corrente que a escova suporta no motor:

- Densidade de corrente → $\boldsymbol{J = \frac{I}{A} = \frac{176,25}{7,3} = 24,18\ \frac{A}{cm^2}}$ (3)

Uma vez que a densidade de corrente característica da escova atual é de $16{,}0\ \frac{A}{cm^2}$, podemos observar que a densidade de corrente aplicada a escova está muito acima de sua densidade característica, o que pode ser a causa fundamental do superaquecimento das escovas.

4.1.2 Soltura de rabicho

Como pode ser observado da Figura 51, o rabicho é fixado à escova através de um furo em seu corpo preenchido com pó que cobre tratado, que é uma liga de cobre com prata, como explicado na seção 3.1.3.1.

Como consequência do superaquecimento causado pelo excesso de corrente que circula pela escova, causa uma dilatação do diâmetro do furo, causando a soltura dos rabichos da escova.

Figura 51 – Rabicho preso com pó tratado de cobre

Fonte: Material próprio

A Figura 52 demonstra um exemplo de escova com rabicho solto.

Figura 52 – Escova com rabicho solto

Fonte: Material próprio

4.1.3 Faiscamento

Os dedos de mola dos porta escovas atuais são do tipo radiais, que empregam uma mola espiral guiada por um conjunto de cavalete para a produção da tensão da escova.

Fadiga da mola e desgaste dos cavaletes, que também pode ter origem no superaquecimento das escovas, o que faz com que o dedo de mola permaneça travado, retirando a tensão sobre a escova.

A perda de tensão do dedo de mola que pressiona as escovas contra o comutador, faz com que as escovas se desliguem do comutador durante a operação normal do motor, perdendo o contato mecânico e elétrico.

O desligamento das escovas do comutador provoca o faiscamento do motor, chegando a sua consequência mais grave que é o *flashover* do motor.

Na Figura 53 observa-se os efeitos do faiscamento sobre os porta escovas.

Figura 53 – Porta escovas com molas radiais

Fonte: Material próprio

4.2 Novo modelo de escova e porta escova

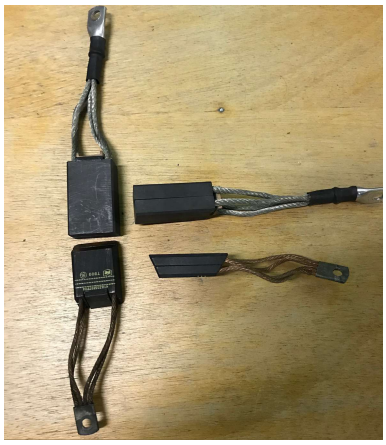
Como solução para os problemas apresentados foi desenvolvido um novo modelo de escovas, bem como porta escovas capazes de acondicioná-las com um novo sistema de produção de pressão de mola.

Para melhor atender a densidade de corrente característica das escovas existentes no mercado, foi feito um redimensionamento na seção transversal das escovas.

Observando as dimensões do comutador e do espaço livre na região de fixação dos porta escovas no motor, chegou-se a uma seção transversal da escova máxima possível de 9,7 cm^2, o que representa um ganho em relação aos 7,3 cm^2 da escova antiga.

Na Figura 54 exibida uma comparação do novo modelo de escova e o modelo antigo, onde se pode perceber que o modelo novo apresenta dimensões bem maiores e um posicionamento perpendicular ao comutador.

Figura 54 – Comparação entre o modelo novo e o antigo de escova

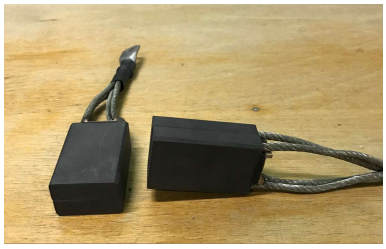


Fonte: Material próprio

Com uma seção transversal de 9,7 cm^2, obtemos uma densidade de corrente circulando pela escova de:

- Densidade de corrente $\rightarrow \boldsymbol{J = \frac{I}{A} = \frac{176{,}25}{9{,}7} = 18{,}17\ \frac{A}{cm^2}}$ (4)

Figura 55 – Novo modelo de escova



Fonte: Material próprio

Como se observa da Equação 4, a densidade de corrente da nova escova está mais próxima do valor característico do material utilizado (16,0 $\frac{A}{cm^2}$).

Ainda não é o ideal, ainda não chegou na densidade de corrente característica da escova, mas está próximo o suficiente produzir uma redução significativa dos modos de falhas encontrados.

4.2.1 Um novo desenho para o comutador

Com o intuito de melhorar o resfriamento do comutador, o fabricante do motor produziu um rebaixo na superfície do comutador na forma de uma espiral. Isso era necessário pois havia um aquecimento anormal na escova.

Na Figura 56 é uma foto de como é o comutador original.

Figura 56 – Espiral de resfriamento do comutador

Fonte: Material próprio

Para compensar a redução da área de contato da escova com o comutador, o fabricante posicionou as escovas nos porta escovas de forma oblíqua ao comutador.

Com a redução de aquecimento das escovas pela redução da densidade de corrente devida ao aumento da seção transversal da escova, foi possível a instalação da escova na posição perpendicular ao comutador e a retirada da espiral de resfriamento do comutador.

Na Figura 57 é uma foto de como é o novo desenho do comutador.

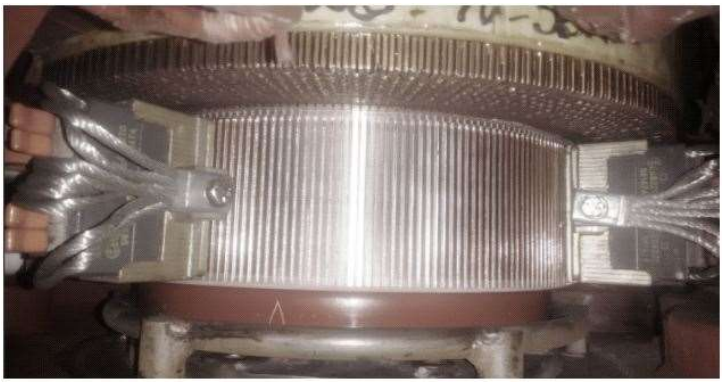
Figura 57 – Comutador se a espiral de resfriamento

Fonte: Material próprio

A retirada da espiral de resfriamento eliminou as arestas criadas no comutador, reduzindo consequentemente o desgaste das escovas e produzindo uma melhor comutação, o que leva a uma redução das falhas.

Na Figura 58 exibe os novos modelos de escovas e porta escovas montados no motor com o comutador sem a ranhura de resfriamento.

Figura 58 – Comutador novo já instalado no motor



Fonte: Material próprio

4.2.2 Um novo porta-escovas

O redimensionamento e o reposicionamento das escovas exigiram o desenvolvimento de um novo projeto de porta escovas.

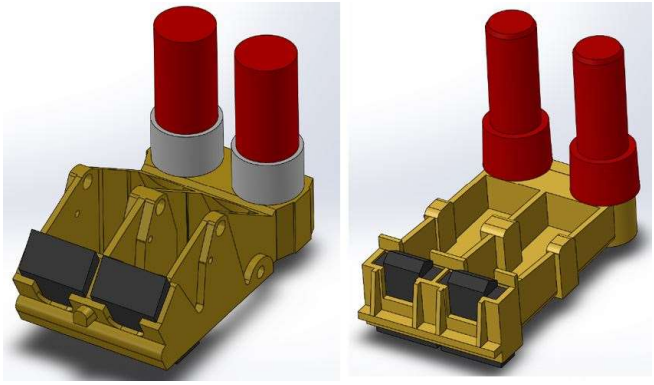
- Para eliminação das falhas apresentadas pelo sistema de produção da pressão do dedo da mola, no novo projeto de porta escovas o sistema radial foi substituído um sistema de mola espiral de pressão constante.
- Para facilitar a retirada das escovas instaladas no motor e diminuir o risco de acidentes pessoais ao fazer a troca das escovas, foi adicionado ao porta escovas um puxador para destravamento das molas, como se vê na Figura 59.

Figura 59 – Novo porta-escova

Fonte: Mersen

- Na Figura 60 pode-se observar o posicionamento das escovas nos porta escovas. Inclinadas no modelo antigo e perpendiculares no modelo novo.

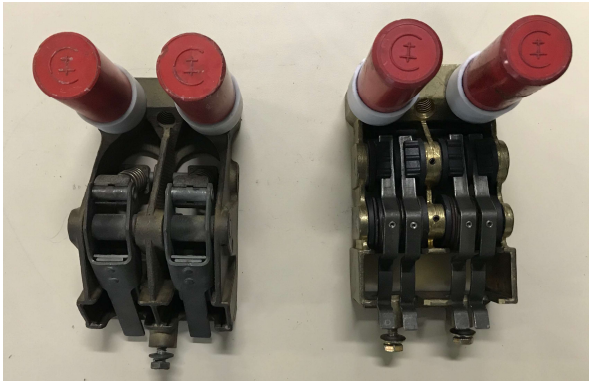
Figura 60 – Comparação porta-escovas projeto



Fonte: Mersen

Na Figura 61 são mostradas as diferenças entre os dois porta escovas.

Figura 61 – Comparação porta escovas



Fonte: Material próprio

4.2.3 Custos do novo projeto

Na Tabela 2 há uma comparação do custo aproximado entre o porta-escovas novo e o antigo.

Tabela 2 – Custo do projeto

Antigo		Novo	
Item	Valores	Item	Valores
Porta-escovas	R$ 710,00	Porta-escovas	R$ 520,00
Escovas	R$ 70,00	Escovas	R$ 59,00
Expectativa de vida	5,1 Meses	Expectativa de vida	8 Meses

Fonte: Material próprio

Com os valores apresentados na Tabela 1 e considerando como premissas que:

- Que a frota é composta por 1907 motores de tração;
- Cada motor de tração possui 4 porta escovas;
- Cada porta escovas possui 2 escovas;

podemos estimar:

- Custo para compra de escovas no modelo antigo de R$ 2.640.000,00.
- Investimento inicial da aquisição nos porta-escovas de R$ 4.000.000,00.
- Custo para compra de escovas do novo modelo de R$ 1.350.000,00.
- Redução de custo com a compra das escovas no novo modelo de R$ 1.290.000,00, o que corresponde a 51%.

Na Tabela 3é feita uma comparação dos custos advindos da aplicação do modelo novo e do antigo para um ciclo de vida de 6 anos, já levando em conta o custo de fabricação do novo porta-escovas.

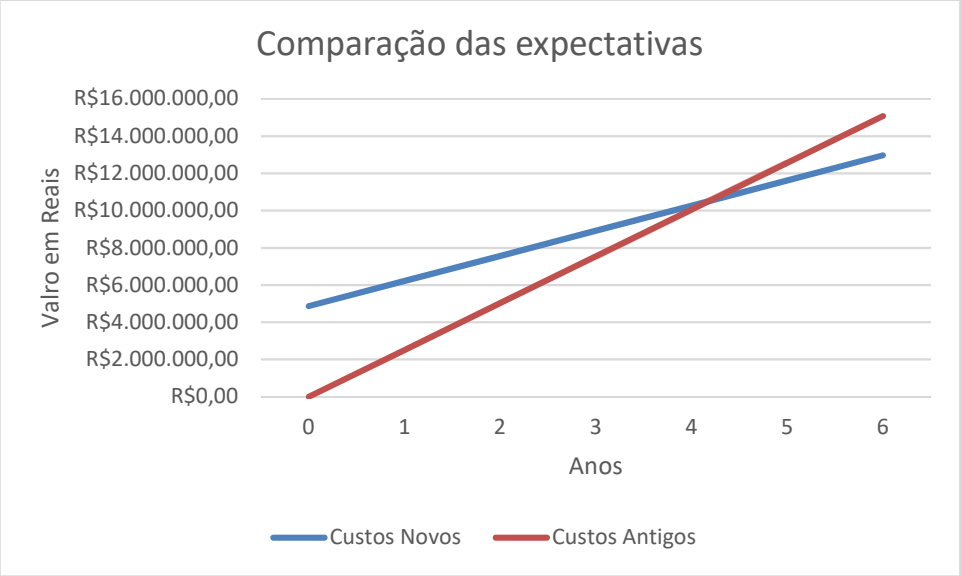
Tabela 3 – Comparação financeira dos projetos

Anos	Custos novos (expectativa)	Custos antigos
0	R$4.866.664,00	R$0,00
1	R$6.216.820,00	R$2.512.752,94
2	R$7.566.976,00	R$5.025.505,88
3	R$8.917.132,00	R$7.538.258,82
4	R$10.267.288,00	R$10.051.011,76
5	R$11.617.444,00	R$12.563.764,71
6	R$12.967.600,00	R$15.076.517,65

Fonte: Material próprio

O Gráfico 1 faz a análise dos valores da Tabela 2, para tornar a visualização dos resultados.

Gráfico 1 – Comparação das expectativas dos projetos



Fonte: Material próprio

Como pode ser visto do Gráfico 1, o novo projeto começa a ser viável entre o quarto e o quinto ano de uso.

4.3 RESULTADOS

O projeto desenvolvido já se encontra na situação de teste de avaliação técnica e funcional.

Durante os testes, foi observado que:

- As escovas do modelo antigo, projetadas pelo fabricante do motor, apresar terem uma expectativa de vida de 5,1 meses, eram trocadas a cada 3 meses.
- As escovas do modelo novo sob teste foram retiradas com 16 meses de utilização, e, conforme avaliação técnica, poderiam ser utilizadas por mais um mês.

Na Tabela 4 pode-se ver melhor os custos reais do novo projeto.

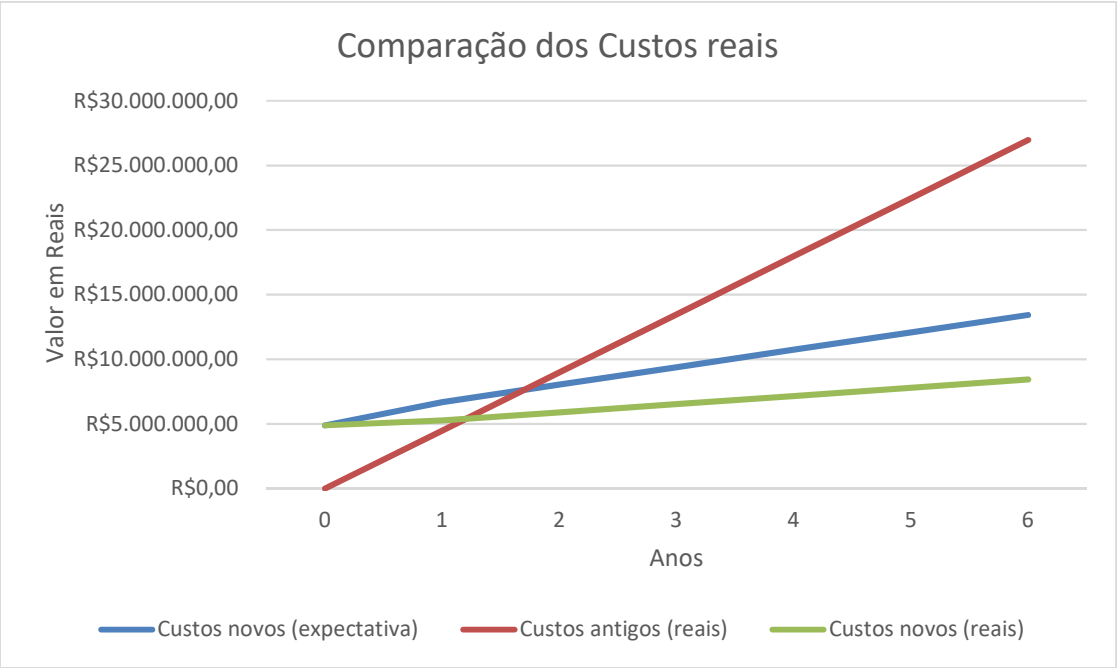
Tabela 4 – Gastos reais

Anos	Custos novos (expectativa)	Custos antigos (Reais)	Custos novos (Reais)
0	R$4.866.664,00	R$0,00	R$4.866.664,00
1	R$6.216.820,00	R$4.271.680,00	R$5.541.742,00
2	R$7.566.976,00	R$8.543.360,00	R$6.216.820,00
3	R$8.917.132,00	R$12.815.040,00	R$6.891.898,00
4	R$10.267.288,00	R$17.086.720,00	R$7.566.976,00
5	R$11.617.444,00	R$21.358.400,00	R$8.242.054,00
6	R$12.967.600,00	R$25.630.080,00	R$8.917.132,00

Fonte: Material próprio

No Gráfico 2 faz a análise dos valores da Tabela 3, para que possa ser mais fácil a visualização dos resultados.

Gráfico 2 – Comparação de custos



Fonte: Material próprio

Como percebe-se no Gráfico 2 os gastos reais da nova escova superaram e muito as expectativas, o motivo é que na expectativa a escova antiga tinha uma vida esperada de 5,1 meses enquanto na realidade é de apenas 3 meses, e a escova nova também melhorou, tinha uma expectativa de vida de 8 meses e na prática conseguiu atingir 17 meses e a equipe de manutenção observou que a escova retirada do motor poderia ser utilizada por mais 5 meses, totalizando 22 meses.

As locomotivas sofrem uma manutenção preventiva de 24 em 24 meses, já foi observado a possibilidade de aumentar um pouco o tamanho da escova, em alguns milímetros, para que a troca delas coincida com a manutenção preventiva, logo não precisará mais de parar uma locomotiva apenas para troca de escovas.

Analisando o gráfico podemos concluir que haverá uma economia de aproximadamente R$ 18.000.000 em seis anos de ciclo de vida, analisando somente o custo das escovas, excluindo a mão de obra que é especializada e custa por volta de 15 dólares o homem-hora (HH).

Uma observação muito importante a ser feita é que foi observado que esse superaquecimento da escova contribui muito para um desgaste mecânico e elétrico excessivo e isso faz com que a manutenção venha antes, causando mais gastos e mais prejuízo para a empresa.

5 CONCLUSÃO

A utilização de escovas de eletrografite em motores CC de porte significativo, principalmente em motores de tração, ainda durará por tempo indeterminado, um custo considerável é voltado para a manutenção desses motores de tração e geradores nas ferrovias no em todo mundo.

Os fabricantes de escovas a todo momento procurarão apresentar um produto de qualidade superior, graças a concorrência do mercado, os fabricantes sempre estarão em busca de novos materiais, seja nos materiais da escova ou no cobre do comutador dos motores de tração. Cabe as empresas exigirem ao departamento técnico sempre cobrar pela qualidade do produto que é adquirido.

Não se pode garantir que somente escovas de qualidade superior irão garantir um melhor funcionamento de um motor. A manutenção é de suma importância, mancais, amortecedores, rolamentos e outras partes requerem uma atenção especial, sabendo que essas peças possuem uma vida útil de trabalho, então é necessário evitar o desgaste máximo dessas peças.

Existe um problema também muito sério que foi estudado neste trabalho no capitulo 5, projetar corretamente o material que vai ser utilizado. No estudo foi analisado que quando a escova esta subdimensionada ocorre o superaquecimento e consequentemente outros problemas muito graves que diminuem muito a vida útil das escovas. Ocorre um desgaste mecânico e elétrico maior que o convencional.

Sempre deve averiguar todo o projeto antes de executa-lo, pois um pequeno erro pode levar a uma grande falha, ou a uma perda expressiva de performance e um maior custo na manutenção, como vê-se neste trabalho.

REFERÊNCIAS

KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 11ª Edição. Editora Globo, 1995

VALKENBURGH, V; NOOGER; NEVILLE. **Eletricidade Básica** – Edição Revista – Vol 5. New York - The Brolet Press.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**: 2ª Edição Revisada e Ampliada. Coleção Shaum. Editora Bookman, 2009

WEG INDÚSTRIAS S. A. **Características e Especificações de Motores de Corrente Contínua e Conversores CA/CC**. Espirito Santo, 2008

WEG INDÚSTRIAS S. A. **Manual de Instalação e Manutenção de Motores de Corrente Contínua**. Rio de Janeiro, 2010

MARTIGNONI, A. **Máquinas Elétricas de Corrente Contínua**. 1ª Edição. Editora Globo, 2007.

MANDELLI, A. L. **Estudo das escovas eletrografíticas para motor de tração de locomotivas diesel-elétricas**. 2004. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004. PDF.

HP ELETROMECANICA. **Problemas operacionais.** PDF. Disponível em: <http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-prob.pdf>. Acesso em 09 jul. 2018.

HP ELETROMECANICA. **Manutenção e cuidados com as máquinas que usam escovas.** PDF. Disponível em: <http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-manut.pdf>. Acesso em 09 jul. 2018.

HP ELETROMECANICA. **Componentes de uma escova.** PDF. Disponível em: <http://hpeletromecanica.com.br/motor-cc-comp.pdf>. Acesso em 09 jul. 2018.