
O impacto do uso de combustível adulterado nos motores elétricos de corrente contínua de ímãs permanentes em eletrobombas de combustível

Samantha T. Marques¹, Giorgio F. Silva² e Alexandre W. C. Faria³,
Fiat Automóveis S. A. - Betim - MG

samantha.teixeira@fiat.com.br¹, giorgio.silva@fiat.com.br² e alexandre.wagner@fiat.com.br³

RESUMO

O objetivo deste artigo é descrever o impacto da utilização de combustível adulterado sobre os motores elétricos das bombas de combustível. O sistema de alimentação automotivo, a concepção e princípios de funcionamento da bomba de combustível são descritos neste trabalho. O motor elétrico de corrente contínua de ímãs permanentes é usado para esta aplicação específica e pode apresentar anomalias quando o combustível apresentar características de adulteração. O trabalho descreve as avaliações comparativas, na referida máquina elétrica, utilizando o combustível comum e o combustível adulterado.

Palavras-Chave: Bomba de combustível; motor elétrico de corrente contínua de ímãs permanentes; combustível adulterado.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de combustível adulterado proporciona diversas conseqüências, sendo que a primeira a ser notada, principalmente pelos consumidores, são os danos funcionais provocados no veículo. A utilização de solventes acarreta danos a todo o sistema de alimentação automotivo e causando, também, danos irreparáveis ao motor da bomba elétrica de combustível.

O motor de corrente contínua é uma máquina elétrica amplamente utilizada em diversas aplicações devido ao grande rendimento e ao baixo custo de produção. Exemplificase a vasta aplicação deste componente no setor automotivo, onde esse motor pode estar presentes nos ventiladores, acionadores de vidros e travas elétricas, motor de partida, eletrobombas de combustível e motores limpadores de pára-brisa.

Neste texto, propõe-se a comprovação dos danos causados aos motores elétricos de bombas de combustível quando é utilizado o combustível adulterado.

2. O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO AUTOMOTIVO

O sistema de alimentação de combustível padrão usa uma bomba de combustível acionada eletricamente, que alimenta a máquina térmica com combustível e gera pressão de injeção. O combustível é aspirado do tanque de combustível e pressurizado para um tubo através de filtros de papel, de onde ele flui para o distribuidor de combustível com as válvulas injetoras, montado no motor. O regulador de pressão está fixado na galeria de combustível. Ele mantém a diferença de pressão constante através do orifício dosador independentemente da carga do motor (pressão do coletor de admissão).

O combustível excedente flui através da galeria de combustível, via um tubo de retorno ligado ao regulador de pressão, de volta ao tanque de combustível. O combustível realimentado é aquecido no caminho do motor para o tanque de combustível. Com isso resulta uma elevação da temperatura do combustível no tanque. Em função desta temperatura, geram-se vapores de combustível. Para proteger o meio ambiente estes são armazenados intermediariamente em um filtro de carvão ativado por um sistema de ventilação do tanque, e conduzidos com o ar admitido para o motor, via coletor de admissão.

A bomba elétrica de combustível, tem a função de disponibilizar ao motor, sob todas as condições operacionais, a quantidade suficiente de combustível com a pressão necessária para a injeção. As principais exigências são (BOSCH, 25ed, 2005):

- Vazão entre 60 e 250 l/h com tensão nominal;
- Pressão no sistema de combustível entre 300 e 650 Kpa;
- Aumento da pressão a partir de 50 a 60% da tensão nominal: o fator determinante para isso é o funcionamento na partida a frio.

A bomba elétrica de combustível é composta de:

- Tampa de conexão com conexões elétricas;
- Válvula de retenção (contra esvaziamento do sistema de combustível);
- Motor elétrico de corrente contínua com imã permanente.

A bomba centrífuga é usada para as aplicações de gasolina com pressão de até 500kPa. Uma turbina provida de inúmeras pás em seu contorno gira em uma câmara formada por duas carcaças fixas. Essas carcaças fixas apresentam canais na área das pás do rotor. Os canais começam na altura da abertura de sucção e terminam onde o combustível sai da parte da bomba com pressão e sistema.

A pressão sobe ao longo do canal através da troca de impulso entre as pás da turbina e as partículas de fluido. A consequência disso é uma rotação em espiral do volume de líquido encontrado na turbina e nos canais.

Enquanto nas primeiras injeções eletrônicas de gasolina, a bomba elétrica de combustível era montada exclusivamente fora do tanque (*in line*), atualmente, é predominada a montagem da bomba elétrica de combustível dentro do tanque (*in tank*). A bomba elétrica de combustível é parte de um módulo de alimentação de combustível, que pode envolver outros elementos, dentre os quais:

- O reservatório para garantir combustível na dirigibilidade em curvas;
- O sensor de nível de combustível;
- O regulador de pressão para sistemas sem retorno;
- O pré filtro para proteção da bomba;
- O filtro fino de combustível do lado de alta pressão;
- Conexões elétricas e hidráulicas.

As Figuras 1 e 2 ilustram os principais componentes do sistema de alimentação:



Figura 1: Conjunto da bomba de combustível e pré-filtro.

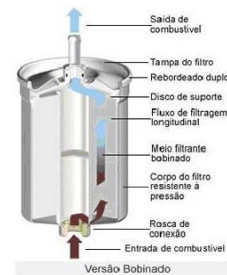


Figura 2: Detalhes da bomba.

3. O MOTOR CC DE ÍMÃS PERMANENTES

3.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

3.1.1. A ARMADURA

A armadura é constituída de um pacote de chapas laminadas, nas quais são diretamente dispostos os enrolamentos. O fio do enrolamento é revestido com uma resina, que consiste em isolar para que não ocorra o curto entre as espiras. Após cada bobina o fio é laçado uma vez em volta do comutador e depois de terminada a operação de enrolamento é ligado no coletor através do processo *Hot-staking*, um método de prensagem a quente. A Figura 3 ilustra a armadura.

O comutador é vital para operação do motor de imã permanente corrente contínua, pois permite a mudança no sentido do campo eletromagnético da armadura para manter o torque direcional.

Os coletores são projetados para trabalhar em uma rotação inferior a 4000 RPM. Este parâmetro também está relacionado à temperatura e a corrente em que o coletor vai ser exigido.

O tipo de enrolamento e suas características dependem da especificação de desempenho e aplicação do motor.

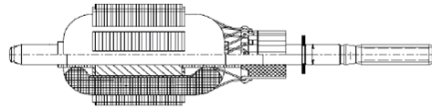


Figura 3: A armadura do motor CC.

3.1.2. A CARÇAÇA

A carcaça é constituída de um anel de ferro macio calandrado, cujo ponto de junção situa-se paralelamente ao centro do ímã, para anular a resistência magnética adicional desta união. Os ímãs são magnetizados após a montagem no conjunto carcaça no processo produtivo. O sentido de magnetização é importante para o sentido de giro do motor.

As dimensões e o material do ímã são selecionados para satisfazer as exigências de desempenho e, também, para que resista ao ensaio de desmagnetização. As condições operacionais do motor são novamente fatores muito importantes a se considerar ao selecionar o material do ímã.

3.1.3. O CONJUNTO PORTA ESCOVAS

O desempenho da comutação é o fator de primordial importância para a performance do motor. Os arcos elétricos devido à comutação em motores de corrente contínua com escovas causam danos as escovas e ao comutador. Em caso de grandes correntes de armadura, os arcos elétricos vão aparecer causando assim uma menor vida útil do comutador e das escovas. Como a troca de escovas ou do comutador nas bombas são muito difíceis, torna-se uma questão crucial reduzir o desgaste das escovas (SAWA, Koichiro; 54th IEEE, 2008). A Figura 4 ilustra as escovas e o comutador da eletrobomba de combustível.

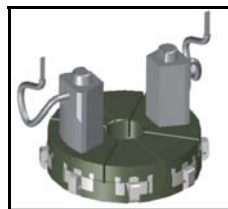


Figura 04 - Porta escovas

3.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento do motor CC baseia-se nas forças resultantes da interação entre o campo magnético (produzido pelos ímãs permanentes) e a corrente que circula na armadura. Tais forças tendem a mover o condutor num sentido perpendicular ao plano da corrente elétrica e do campo magnético (regra da mão direita), como pode ser observado na Figura 5.

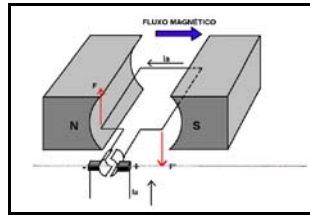


Figura 5: Forças que atuam em uma espira.

A Figura 5 mostra o sentido das forças que atuam em uma espira. Sob as ações das forças a espira irá se movimentar até o seu plano se tornar perpendicular ao campo magnético, onde as forças se anulam. Assim, é necessária a inversão de corrente na espira para que o movimento de rotação continue. Essa é a função do comutador, que permite a circulação de corrente alternada no rotor a partir de uma fonte de corrente contínua.

Para a obtenção de um conjugado constante ao longo de uma revolução completa da armadura são utilizadas várias espiras defasadas no espaço e conectadas ao comutador.

Os condutores da armadura, quando há a comutação, produzem tensões induzidas, força contra-eletromotriz – f_{cem} , que se opõem à tensão aplicada.

A força contra-eletromotriz é proporcional à velocidade de rotação do rotor e ao fluxo magnético e pode ser expressa por:

$$E = n \times \phi \times C_E \quad (1)$$

Onde:

E : força contra-eletromotriz;

n : rotação;

C_E : constante da máquina elétrica.

O conjugado total que atua nos condutores da armadura é dado por:

$$C = C_M \times \phi \times I_A \quad (2)$$

Onde:

C : conjugado motor;

C_M : constante;

Φ : fluxo de armadura;

I_A : Corrente da armadura.

3.3. O CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

O circuito elétrico equivalente do motor de corrente contínua é ilustrado na Figura 6.

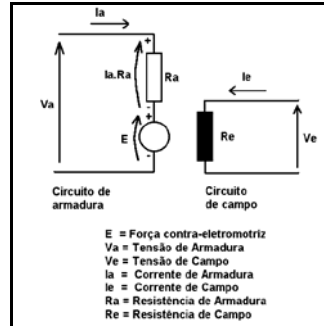


Figura 6: Circuito elétrico do motor de corrente contínua.

Onde a tensão de armadura pode ser expressa, segundo Kirchhoff, pela seguinte expressão:

$$V_a = E + I_a \times R_a \quad (3)$$

A tensão de armadura é igual à soma das quedas de tensão entre a resistência da armadura e a força contra-eletromotriz. Combinando-se as equações (1) e (3) temos:

$$n = \frac{V_a - I_a \times R_a}{C_E \times \phi} \quad (4)$$

A equação (4) expressa que a velocidade de um motor CC varia em proporção linearmente crescente em relação à tensão de armadura e em razão inversa ao fluxo magnético produzido pelo enrolamento de campo.

4. O COMBUSTÍVEL ADULTERADO

A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos voláteis, cuja composição relativa e características dependem da natureza do petróleo que a gerou, dos processos de refino e da finalidade para a qual foi produzida. Obtida do refino do petróleo, é constituída basicamente por hidrocarbonetos. Possui também contaminantes naturais em baixas concentrações, formadas por compostos contendo enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio (TEKESHITA, UFSC,2006).

Os tipos de gasolina são oferecidos aos consumidores de acordo com as principais características de projeto dos motores, em função da taxa de compressão do motor e de outras variáveis que afetam a temperatura e pressão dentro do motor, além do tipo de sistema de injeção de combustível. As gasolinas podem ser classificadas em três grupos, dentre os quais:

- Gasolina Tipo A: gasolina pura isenta da adição de álcool etílico. Não é vendida em postos;
- Gasolina Tipo C Comum: obtida da mistura da gasolina tipo A com álcool anidro;
- Gasolina Tipo C Aditivada: è obtida pela adição de um aditivo do tipo “detergente dispersante” na gasolina C comum.
- Gasolinas Especiais: São utilizadas, em sua maioria, por montadoras e laboratórios para desenvolvimento de motores, em testes de performance, testes de emissões e também como a primeira gasolina a ser inserida no automóvel quando finalizada sua montagem.

4.1. A ADULTERAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

A adulteração do combustível envolve a modificação de sua composição original através da adição de:

- Álcool etílico anidro em porcentagens superiores ao estabelecido pela ANP;
- Solventes diversos, como refinados petroquímicos e diesel.

A adição de solventes seja de um novo composto, seja pelo excesso de outro já presente naturalmente, provoca mudanças nas propriedades físico-químicas da gasolina; entre elas a curva de destilação, a pressão de vapor, e a taxa de equilíbrio vapor - líquido estão diretamente relacionadas à composição e às características químicas da mistura. Estas propriedades têm uma grande influência no controle da ignição, no aquecimento e aceleração do motor e no consumo de combustível.

Dentre os solventes mais usados na adulteração da gasolina estão o óleo diesel, querosene e refinados petroquímicos (TEIXEIRA et al., 2001), além do solvente de borracha e o excesso de álcool anidro.

Podemos citar como fatores motivadores da grande expansão da atividade ilícita de adulteração de combustíveis (TEKESHITA, UFSC, 2006).

- A grande diferença de preço entre solventes e gasolina;
- Os solventes podem ser adquiridos facilmente no mercado, não possuindo nenhuma restrição quanto à sua venda;
- Os solventes são solúveis na gasolina, tornando difícil a detecção por simples inspeção visual;
- A alta incidência de impostos sobre a gasolina, levando a uma pequena margem de lucro sobre a venda do produto.

Além da ação sobre o veículo, tais como: aumento do consumo de combustível, agressão aos componentes do sistema de alimentação do veículo e piora da performance do

motor, a utilização de combustível adulterado provoca outras conseqüências relacionadas ao aumento das emissões de gases de combustão nocivos, como derivados de NOx e SOx, causadores de chuva ácida, e monóxido de carbono CO, que é altamente asfixiante, devido à queima irregular de gasolina no motor.

5. ANÁLISES REALIZADAS E RESULTADOS

Os resultados, a seguir, foram obtidos a partir das avaliações nos conjuntos das bombas de combustível, comparando o desempenho do uso do combustível comum e do combustível adulterado.

O combustível foi adulterado com a adição de 20% de água e solventes diversos, visando à simulação de condições de funcionamento severas para o sistema de alimentação de combustível.

O ciclo de acionamento proposto consiste em ligar a eletrobomba de combustível por 10 segundos e desligá-la por 2 minutos. Durante todo o período as características elétricas foram monitoradas.

Alguns dias após o início da avaliação, foi percebida a variação nos valores de corrente do motor elétrico, onde o motor disposto no tanque contendo combustível adulterado apresentou valores médios de corrente superiores em relação ao motor presente no combustível comum.

As caracterizações elétricas realizadas, após o término da prova, comprovaram alterações na comutação do motor que trabalhou com combustível adulterado. As Figuras 7 e 8 apresentam a comparação entre as correntes típica na comutação na eletrobomba disposta na gasolina normal e na adulterada, respectivamente.



Figura 7: Comutação típica da eletrobomba disposta na gasolina normal – (tipo c).

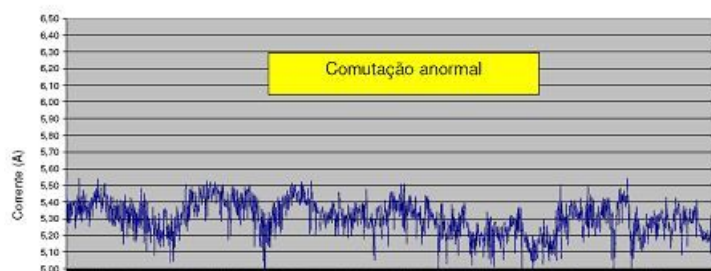


Figura 8: Comutação típica da eletrobomba disposta na gasolina adulterada.

Para a comutação anormal, observa-se na Figura 8 que existe grande variação da amplitude da corrente em relação a um curto espaço de tempo demonstrando um distúrbio de comutação compatível com curto circuito.

Após a análise da eletrobomba, pode-se perceber que grande quantidade de partículas de carvão estava depositada no filtro interno da eletrobomba que continha o combustível adulterado, como é demonstrado na Figura 9.



Figura 9: Filtro interno da eletrobomba que continha combustível adulterado.

As partículas de carvão presentes no pré-filtro são oriundas do desgaste prematuro das escovas dos motores elétricos, presentes nos tanques com combustível adulterado. As Figuras 10 e 11 apresentam o desgaste ocorrido nas escovas após a prova. Já as Figuras 12 e 13 mostram o desgaste das escovas submetidas ao combustível comum. A Figura 14 demonstra uma escova nova. As imagens se referem à superfície de contato entre as escovas e o comutador.

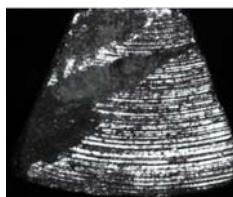


Figura 10: Escova positiva adulterada.

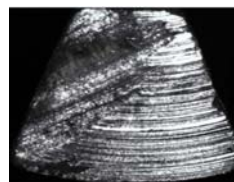


Figura 11: Escova negativa adulterada.

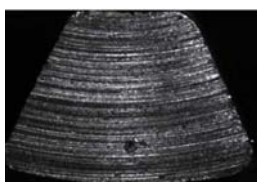


Figura 12: Escova positiva comum.

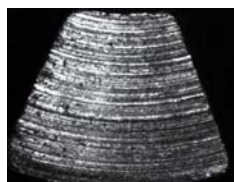


Figura 13: Escova negativa comum.

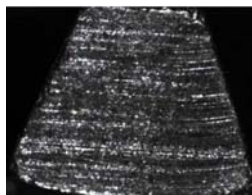


Figura 14: Escova nova.

A escova nova, Figura 14, possui ranhuras retilíneas paralelas, enquanto as escovas usadas, Figuras 12 e 13, possuem curvas que acompanham o giro do comutador preso à armadura da máquina elétrica, evidenciando o assentamento das escovas. Porém, as escovas utilizadas no combustível adulterado apresentaram superfícies irregulares, figuras 10 e 11, com ranhuras em direções diferentes das do giro do induzido e erosões, justificando assim um maior desgaste.

Por meio de uma análise utilizando cores falsas, é possível evidenciar mais o desgaste não uniforme e maior da Escova adulterada, Figuras 15 e 16, em relação à Escova normal, Figuras 17 e 18. Para a escova nova temos a evidencia de não utilização, Figura 19.

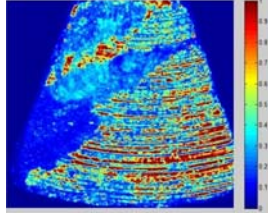


Figura 15: Escova positiva adulterada.

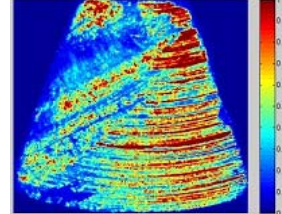


Figura 16: Escova negativa adulterada.

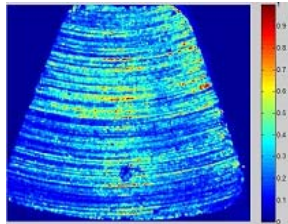


Figura 17: Escova positiva comum.

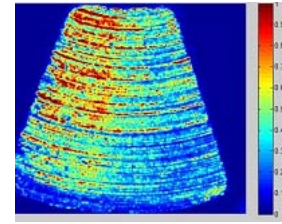


Figura 18: Escova negativa comum.

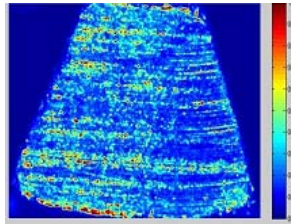


Figura 19: Escova nova.

Em uma análise mais detalhada, do motor elétrico, foi encontrada uma partícula de um contaminante condutivo localizado na superfície do comutador, entre um dos segmentos de carvão e o eixo metálico. Este material condutor foi oriundo da adulteração do combustível e causou um desbalanceamento na comutação do motor. Este contaminante causou um curto-circuito entre um dos segmentos do comutador e o eixo metálico da armadura. A Figura 15 ilustra a partícula no comutador.

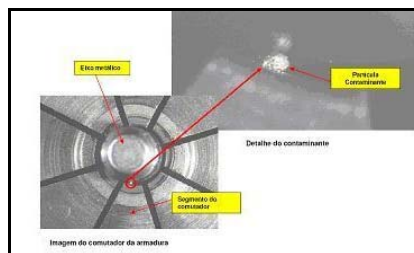


Figura 15: Partícula na armadura.

6. CONCLUSÃO

O combustível adulterado causa danos irreparáveis ao motor elétrico de corrente contínua utilizado nas bombas de combustível. O desgaste prematuro das escovas foi comprovado quando utilizado combustível adulterado no lugar de combustível comum. Como consequência do desgaste das escovas, foi notado que as partículas de carvão das escovas depositaram no pré-filtro da eletrobomba de combustível.

As partículas de material condutor, presente nos agentes adulterantes (solventes), aglomeraram entre si e se alojaram entre a lâmina do comutador e o eixo metálico, causando curto-circuito do motor. Em longo prazo, este curto-circuito causa um desgaste acentuado das escovas de carvão até o travamento do motor.

Além do prejuízo para o cliente, com a utilização do combustível adulterado, ainda há a degradação do meio ambiente com a maior emissão de gases de combustão nocivos devido à queima irregular dos solventes presentes na gasolina pela máquina térmica.

A presença considerável de resíduos nos pré-filtros internos e nos reguladores de pressão, além das irregularidades na superfície de algumas escovas, apesar de não terem culminado na falha do componente, durante a avaliação, certamente evidenciará a inoperância da eletrobomba de combustível, devido ao constante uso de combustível adulterado.

7. REFERÊNCIAS

BOSCH. Manual de Tecnologia Automotiva. 25 ed; Edgard Blucher; 2005.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; KUSKO, Alexander. Máquinas elétricas: conversão eletromecânica da energia, processos, dispositivos e sistemas. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

KOSOW, Irving L. Máquinas elétricas e transformadores. 3. ed. Porto Alegre, 1979.

SAWA, Koichiro; KOIBUCHI, Koichi; HARA, Tsunashi, “Commutation Arc Characteristics of a Fuel Pump Motor in Ethanol”, Proc. of the 54th IEEE Holm Conference, pp. 84-89, 2008.

TEIXEIRA, L.S.G., GUMARÃES, P.R.B., PONTES, L.A.M, ET AL., “Studies on the Effects of Solvents on the Physicochemical Properties of Automotive Gasoline”, Society of Petroleum Engineers-SPE, Vol.69587, pag 1-6, 2001.

TEKESHITA, Elaine Vosniak, Adulteração de gasolina por adição de solventes: análise dos parâmetros físicos químicos, Trabalho de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC, 2006.