**ENSAIO DE VAZÃO EM BICO INJETOR AUTOMOBILISTICO**

**Alessandro Bueno Pedroso**  – pedrosoalessandro@hotmail.com

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Departamento de Engenharia Mecânica

Rua da Consolação, 930,

CEP-01302-907 – S. Paulo, SP

**Helio Pekelman** – hel1217@ig.com.br

***Resumo:*** *Este trabalho tem por objetivo analisar a vazão nos bicos de injeção de carro e motocicleta e verificar a possibilidade de sua aplicação em um motor de baixa cilindrada utilizado no carro participante da competição maratona de eficiência energética. Foram feitas pesquisas sobre o funcionamento dos motores a combustão e dos bicos injetores. Com base nos dados colhidos, foi construída uma bancada de testes para a verificação da vazão. Após os ensaios foi verificado que com os parâmetros pré-estabelecidos, ambos os bicos injetores, carro e motocicleta têm vazão acima do necessário para uso no motor de baixa cilindrada.*

**Palavras-chave: Bico injetor, motor a combustão interna, economia combustível**

# introdução

O Balanço Energético 2010 (resultados preliminares), ano base 2009, mostra a estrutura da oferta da demanda de energia no Brasil, nele é possível verificar que o petróleo e seus derivados ainda ocupam a maior parcela com 37,8% do total. A grande maioria deste produto é queimada como combustível em uma diversidade de motores, poluindo o ambiente ou gerando gases de efeito estufa. Os esforços para reduzir a agressão ao meio ambiente são crescentes. Neste sentido, foi criada uma competição em 2004 com o intuito de desenvolver veículos capazes de otimizar o consumo energético. A Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie participou de todas as versões e vem utilizando esta plataforma como meio de desenvolvimento tecnológico em diversas áreas como: gestão de projetos, simulação numérica estrutural, simulação numérica aerodinâmica, tecnologia de motores a combustão interna e motores elétricos.

 A Escola de Engenharia tem desenvolvido tecnologia capaz de levar um veículo a percorrer grandes distâncias com um baixo consumo, porém utilizando uma tecnologia tradicional para a alimentação da mistura ar combustível, o carburador. Com o intuito de desenvolver e aplicar uma nova tecnologia, a injeção eletrônica, em motores de baixa cilindrada, este trabalho se propõe a investigar a vazão dos bicos injetores utilizados em carros comerciais com a finalidade de adaptá-los ao motor utilizado na competição Maratona de Eficiência Energética. Cabe ressaltar que a tecnologia de injeção eletrônica aplicada a motores de cilindradas maiores e com a intenção de melhora de desempenho, é dominada, porém pouca informação se encontra sobre os componentes e o uso desta tecnologia em motores de baixa cilindrada e com a intenção de reduzir o consumo.

**1.1. Objetivo Geral**

 Analisar a vazão de saída de combustível (gasolina) em bico injetor automobilístico adaptado ás condições de uso no “carro econômico” da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

**1.2. Objetivo Específico**

 Com o auxílio de uma bancada de ensaios, determinar a vazão de saída de combustível em bicos injetores utilizados em carro e motocicletas em diferentes freqüências de pulsação.

**1.3. Metodologia**

 Primeiramente, foram feitas diversas pesquisas relacionadas ao funcionamento do bico injetor e dos aparelhos necessários para se construir uma bancada de teste que promovesse um resultado muito semelhante a de um sistema de injeção eletrônica encontrado nos motores dos automóveis. Foi buscado informações gerais das características de funcionamento do bico injetor como: tempo de abertura, pressão de funcionamento e o tipo de onda elétrica que deve ser gerada na alimentação do bico. Foi pesquisado os motores de combustão interna obtendo-se dados sobre a mistura de ar/combustível e quais os fatores que interferem no desempenho. Os efeitos negativos ao meio ambiente quando uma mistura é feita de forma desproporcional também foram vistos.

 Foi feita uma análise dos elementos essenciais para o funcionamento de um sistema de injeção de combustível em carro e assim, desenvolvida a de montagem dos equipamentos e aparelhos de forma que fosse simples, barata e funcional.

 Um circuito eletrônico foi desenvolvido para se obter uma onda quadrada, que possa ser ajustada simulando o acelerador de um carro para se obter resultados em situações diferentes de desempenho.

 Foram feitos diversos ensaios utilizando-se como combustível gasolina Petrobrás Premium. Para cada freqüência ajustada, foi realizado um ensaio de vazão com duração de 30 segundos O combustível coletado foi pesado em balança de precisão para a determinação da vazão.

Foram então construídos quadros e gráficos para uma analise do comportamento do bico injetor nas condições de pressão, tempo de abertura e freqüência de operação a fim compará-los com os dados calculados e verificar se há a possibilidade de implantação de um sistema se injeção eletrônica com estes bicos nos carros da Escola.

**2. REFERENCIAL TEÓRICO**

 Bosch (2002) coloca que devida à rápida evolução dos motores dos automóveis, o velho carburador já não supre as necessidades dos novos veículos, no que se refere à poluição, economia de combustível, potência e respostas rápidas nas acelerações. O sistema de injeção eletrônica tem por objetivo proporcionar ao motor melhor rendimento com mais economia, em todos os regimes de funcionamento. Para que o motor tenha um funcionamento suave, econômico e não contamine o ambiente, ele necessita receber a perfeita mistura ar/combustível em todas as faixas de rotação. Um carburador, por melhor que seja e por melhor que esteja sua regulagem, não consegue alimentar o motor na proporção ideal de mistura. Os sistemas de injeção eletrônica têm essa característica de permitir que o motor receba somente o volume de combustível que ele necessita. Com isso eles garantem: menos poluição; maior economia; melhor rendimento; partidas mais rápidas; não utiliza afogador; melhor aproveitamento do combustível.

O bico injetor é a peça que injeta combustível na câmara de combustão, para que seja feita a mistura entre ar e combustível. O injetor é um dispositivo eletromagnético, tipo solenóide que, ao receber um sinal elétrico do modulo de injeção eletrônica, empurra o êmbolo ou núcleo para cima, isto permite que a válvula, pressionada por uma mola, se desloque de sua sede permitindo que o combustível seja pulverizado ou atomizado no coletor de admissão. O volume de combustível injetado é proporcional ao tempo de abertura da válvula. Conforme Heisler, 1995 os pulsos que controlam a abertura da válvula variam com uma amplitude de 1,0 a 1,5 ms e com uma corrente aproximada de 1,5 Amperes.

 Em um sistema tradicional de injeção eletrônica, o combustível é alimentado via uma bomba que recalca o combustível do tanque e o pressuriza em uma flauta que é o ponto de união entre a linha de combustível, os injetores e o regulador de pressão. A flauta esta instalada próxima ao coletor de admissão.

Um dado importante foi obtido de Stone, Ball, 2004 que informa a pressão de injeção em motores multiponto como sendo normalmente de 2 a 3 bar acima da pressão atmosférica*.*

**3. ENSAIO**

**3.1. Descrição da bancada**

 Faz parte integrante da bancada (Fotografia 1), um pulmão, um tanque de combustível, uma bomba manual, mangueiras e adaptadores, um béquer, um bico injetor e um manômetro. Também faz parte da bancada um circuito eletrônico (fotografia 2) com a finalidade de fornecer ao bico os pulsos na freqüência necessária para seu funcionamento.

Fotografia 2 – Circuito eletronico

 Fonte Própria

Fotografia 1 – Bancada de Testes - Fonte Própria

O pulmão tem a finalidade de armazenar o ar pressurizado por bomba manual a fim de promover a pressurização do sistema de alimentação de combustível. Esse sistema foi feito de modo a reduzir o peso e diminuir a quantidade de componentes deixando o sistema mais confiável. Foi utilizada uma garrafa PET, pois ela suporta satisfatoriamente a pressão de 3 bar aplicada ao sistema

**3.2. Descrição do circuito eletrônico**

 A partir de uma tensão de 12 volts fornecidos ao circuito integrado (CI 555), gera-se uma saída com onda quadrada com duração dos níveis Altos e Baixos proporcionais as malhas RC (potenciômetro e capacitor). A saída do CI 555 encontra-se ligada a base do transistor. Quando a onda chega em estado alto na base do transistor, este se polariza e permite condução entre coletor/emissor, fazendo com que a corrente flua até bico injetor e este forneça combustível ao sistema. Quando o estado baixo chega a base do transistor, sua base não fica polarizada e não permite o fluxo de corrente entre coletor/emissor. O período e a largura do pulso da onda determinam por quanto tempo o bico injetor ira fornecer combustível e os intervalos entre cada fornecimento. Ambos são regulados com o auxílio de dois potenciômetros. O circuito eletrônico simula o módulo de injeção eletrônica do carro.

**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**4.1. Cálculo da vazão necessária de combustível**

Cada litro de gasolina se combina com cerca de 10000 litros de ar. (PUGLIESI, 1998).

 Razão combustível/ar: Em massa – 1:13,5

 Em volume – 1:10.000

**4.2. Volume do cilindro**

 O estudo está sendo realizado para a utilização de injeção de combustível em um motor Honda GX 22, onde o volume do cilindro corresponde a 22 cm³. A conversão em litros é conforme equação 1

 (1)

**4.3. Vazão de gasolina para uma mistura ideal**

 Sabendo-se o volume do cilindro e a porcentagem de gasolina na mistura, obtêm-se pela Equação 2 a vazão em função da rotação. Sendo n = rotação do motor

(2)

Utilizando a equação 2, obteve-se os valores do quadro 1.

 O quadro 1 também mostra a transformação de rotação do motor em freqüência (freqüência = rotações por segundo). Esta freqüência determina o momento da injeção de combustível. Por se tratar de um motor quatro tempos onde a injeção ocorre a cada duas voltas do eixo, a freqüência foi dividida por dois.

Quadro 1 – Vazão necessária para uma mistura ideal a determinadas rotações

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Rotação (rpm) | Frequência (Hz) | Vazão de gasolina (ml/min) |
| 2000 | 16,67 | 2,19000 |
| 3000 | 25,1 | 3,29967 |
| 4000 | 33,39 | 4,39956 |
| 5000 | 41,9 | 5,49945 |
| 6000 | 50,00 | 6,59934 |

Fonte - Própria

**4.2 ENSAIO COM BICO INJETOR DE CARRO**

O ensaiofoi feito baseado nas rotações mais utilizadas pelo carro de economia. Para cada freqüência foram feitas três medidas. A média das três medidas foi utilizada nos cálculos seguintes.

Quadro 2 – Dados do primeiro ensaio de vazão

Fonte - Própria

Fonte - Própria

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frequência (Hz) | Tempo de Abertura do Bico | Duração do Ensaio (segundos) | Massa(g) | Massa Média (g) | Vazão (g/min) |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 5,614 | 5,4617 | 10,9234 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 5,074 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 5,800 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 5,359 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 7,503 | 7,4753 | 14,9506 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 7,272 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 7,651 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 9,336 | 9,4353 | 18,8706 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 9,220 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 9,750 |

**4.3 ENSAIO COM BICO INJETOR DE MOTO**

 O mesmo procedimento foi utilizado para o bico injetor de moto.

Quadro 3 – Dados do segundo ensaio de vazão

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frequência (Hz) | Tempo de Abertura do Bico | Duração do Ensaio (segundos) | Massa(g) | Massa Média (g) | Vazão (g/min) |
| 16.67 | 2,0 ms | 30 | 4,718 | 4,791 | 9,582 |
| 16.67 | 2,0 ms | 30 | 4,743 |
| 16.67 | 2,0 ms | 30 | 4,911 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 4,802 | 4,855 | 9,71 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 4,81 |
| 25,10 | 2,0 ms | 30 | 4,953 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 6,471 | 6,371 | 12,742 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 6,25 |
| 33,39 | 2,0 ms | 30 | 6,392 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 8,502 | 8,395 | 16,79 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 8,39 |
| 41,90 | 2,0 ms | 30 | 8,293 |
| 50,00 | 2,0 ms | 30 | 9,495 | 9,612 | 19,224 |
| 50,00 | 2,0 ms | 30 | 9,561 |
| 50,00 | 2,0 ms | 30 | 9,781 |

Fonte - Própria

**5. ANÁLISE**

 Para uma comparação entre a vazão teórica (necessária) e as obtidas experimentalmente, necessita-se uma transformar as unidades conforme equação 3, uma vez que a vazão experimental em gramas por minutos e a vazão teórica está em mililitros por minuto.

 (3)

Onde:

 Densidade = 0,742 g/ml (Densidade da Gasolina Petrobrás Premium)

Quadro 4 – Vazão experimental em ml/min para Bico Injetor de Carro

|  |  |
| --- | --- |
| Rotação (rpm) | Vazão de gasolina (ml/min) |
| 3000 | 14,7216 |
| 4000 | 20,1490 |
| 5000 | 25,4321 |

Fonte - Própria

Quadro 5 – Vazão experimental em ml/min para Bico Injetor de Moto

|  |  |
| --- | --- |
| Rotação (rpm) | Vazão de gasolina (ml/min) |
| 2000 | 12,9137 |
| 3000 | 13,0863 |
| 4000 | 17,1725 |
| 5000 | 22,628 |
| 6000 | 25,9083 |

Fonte - Própria

 Analisando-se os resultados do Quadro 1 valores teóricos das vazões necessárias e os quadros 4 e 5, verifica-se que as vazões obtidas com a utilização do bicos injetores tanto de carro como de moto seriam maiores que o realmente necessário para o funcionamento do motor Honda GX 22.

**6 - CONCLUSÃO**

 Existe a possibilidade de uma eventual pesquisa mais aprofundada na construção de um circuito eletrônico que possua a capacidade de fornecer tempos de aberturas do bico inferiores a 2 milisegundos.

 Outra possibilidade é reduzir a pressão no sistema, tomando-se o cuidado de não permitir o gotejamento do combustível no bico injetor.

 Por fim, concluiu-se, que para as condições de operação dos testes efetuados na bancada de ensaios, os dois tipos de bicos injetores carro e moto, não podem ser empregados para a alimentação do motor Honda GX 22 pois tem uma vazão muito acima da necessidade o que comprometeria o funcionamento do motor.

**REFERÊNCIAS**

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2010: Ano base 2009: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2010.

BOSCH, Linha de injeção e ignição eletrônica, catálogo, 2002 <<http://www.bosch.com.br/br/autopecas/arquivosCatalogo/injecao_2002.pdf>> capturado em 15/11/2007

HEISLER, Heinz **Advanced engine technology**, SAE international 1995

PUGLIESI, Márcio, **Manual Completo do Automóvel**, Hemus 1998.

PINTO, Cláudio M. Engler, **Gerenciamento de Sistema de Injeção Eletrônica em Motores de Ignição por Centelha**, apresentação em power point, 2005 <[www.fem.unicamp.br/~em672/Engler.ppt](http://www.fem.unicamp.br/~em672/Engler.ppt)> capturado em 15/11/2007

STONE, Richard; BALL, Jeffrey K. **Automotive engineering fundamentals,** USA, SAE international, 2004

**TEST FLOW IN AUTOMOBILE FUEL INJECTOR**

***Abstract:*** *This work aims to analyze the flow in the injection nozzles for car and motorcycle and verify the possibility of its application in a small displacement engine used in the car that participate in the competition named marathon of energy efficiency. Searches were made on the operation of combustion engines and nozzles. Based on data collected, was built a test bench to check the flow. After testing it was verified that with the pre set parameters, both nozzles, car and motorcycle has flow above than necessary for use in small displacement engine.*

***Key-words:*** *injector, internal combustion engine, fuel economy*