



**II CAIM 2010**  
**Segundo Congreso Argentino**  
**de Ingeniería Mecánica**  
**San Juan - Noviembre 2010**

## **Análise comparativa de um sistema de injeção eletrônica De fonte aberta**

Filipe Fontana, Marcelo Vandresen, Milton Pereira

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Grupo de Pesquisa de  
Avaliação do Desempenho de motores de Combustão Interna  
Laboratório da Automobilística  
Avenida Mauro Ramos, nº 950, Centro, CEP: 88020-300 Florianópolis - SC/Brasil  
Tel/Fax: +55-4832210599 - E-mail: fontanafilipe@hotmail.com**

### **RESUMO**

O projeto consiste na realização de diversos ensaios em um motor FIAT 1.6 16V de quatro cilindros movido a gasolina, gerenciado eletronicamente por quatro sistemas distintos: o sistema de injeção original do motor baseado em tecnologia Magneti Marelli; o sistema de injeção eletrônica de fonte aberta MegaSquirt, desenvolvido em nosso grupo de pesquisa; um sistema de injeção eletrônica de alto desempenho voltado para o automobilismo da marca MOTEC; e um sistema injeção eletrônica nacional Fueltech, também voltado para o automobilismo, mas com menor flexibilidade de utilização que os anteriores, cedido pelo fabricante justamente para utilização em pesquisas desta natureza. A potência do motor foi avaliada através de um dinamômetro de bancada Top Dyno e a análise de gases provenientes da queima, avaliada através de um analisador de gases TM132 (Tecnomotor). O consumo de combustível é monitorado por um transdutor de vazão, obtendo-se o consumo de combustível com alta precisão a cada ensaio realizado no dinamômetro de bancada. Com os resultados destes ensaios realizados nos motor, foi desenvolvido um mapa com informações importantes para o uso de cada sistema de injeção eletrônica, como características do funcionamento, faixa de operação, complexidade, facilidade de uso, custo e avaliação global de cada sistema de injeção. Através deste mapa podemos avaliar, de acordo com as necessidades do motor, o sistema mais adequado para o uso, combinando potência, economia de combustível e menor nível de emissão de poluentes. Estes dados podem ser utilizados em diversas áreas, como geração de energia elétrica em motores estacionários, preparação de motores voltados para o automobilismo.

**Palavras-Chave:** Injeção eletrônica; Análise de gases; Automobilismo.

## 1. INTRODUÇÃO

Todos os veículos modernos possuem seu gerenciamento do motor de combustão interna realizado por um sistema eletrônico, com a alimentação de combustível feita através de injeção eletrônica. Estes sistemas originais são completamente estanques, sem possibilidade de realização de otimização das condições de funcionamento dos motores por parte de pessoal especializado fora do ambiente de engenharia da fábrica montadora. Foi desenvolvido através do grupo de pesquisa Análise do Desempenho de Motores de Combustão Interna no IF-SC campus Florianópolis um sistema de injeção eletrônica de fonte aberta baseado na tecnologia MegaSquirt, para a realização deste projeto foram utilizados outros três sistemas de injeção eletrônica, sendo eles a MoTeC, FuelTech e o sistema original do motor Magnetti Marelli.

Durante o desenvolvimento detectou-se a necessidade de refino dos diversos parâmetros de funcionamento do motor baseado na injeção de fonte aberta para que este motor atenda da melhor maneira possível a requisitos impostos por diferentes situações de operação, garantindo também resultados satisfatórios quanto a consumo de combustível, potência desenvolvida pelo motor e níveis adequados de emissões de gases nocivos ao ambiente.

## 2. TRANSDUTOR DE VAZÃO

Existe uma variedade de tipos de medidores de vazão, simples e sofisticados, para as mais diversas aplicações. O tipo a usar sempre irá depender do fluido, do seu estado físico (líquido ou gás), das características de precisão e confiabilidade desejadas e de outros fatores. Os medidores de vazão são classificados em quatro grandes grupos que trabalham de diferentes maneiras, diferencial de pressão, mecânicos, eletrônicos e vazão mássica. A figura 1 apresenta um diagrama com a relação de transdutores de vazão existentes hoje no mercado. Para a nossa aplicação avaliamos qual seria a melhor aplicação em relação a custo principalmente, pois isto poderia inviabilizar o projeto, faixa de medição, facilidade de instalação e tamanho. Tendo em visto que precisávamos de um medidor barato pequeno e uma faixa de medição entre 0,5 e 10 litros por minuto, optamos por um medidor de vazão mecânico do tipo turbina, que melhor se adaptava as nossas exigências.

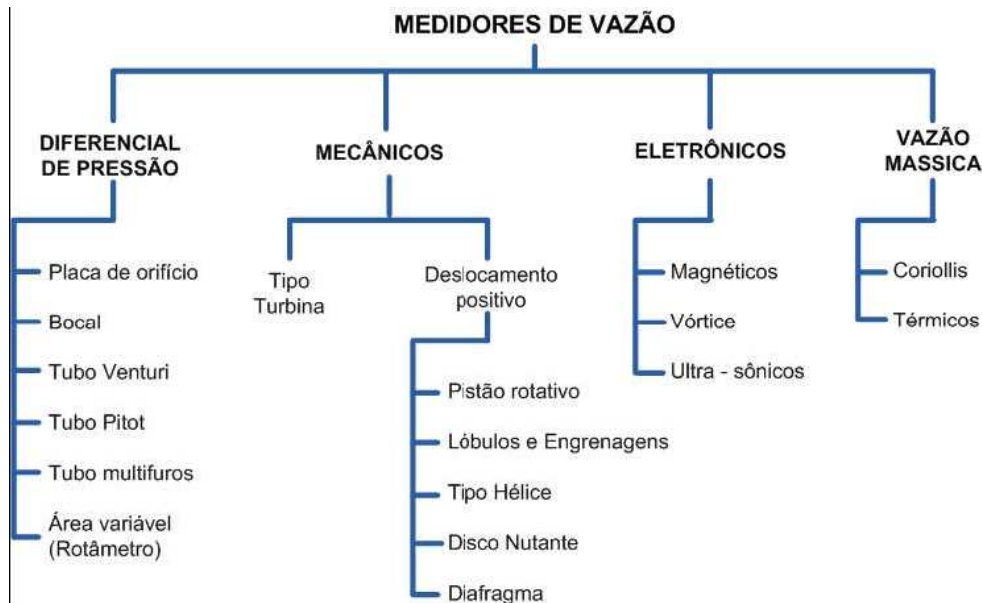


Figura 1 - Relação dos diferentes tipos de medidor de vazão.

## 2.1. Transdutor Tipo Turbina

Inventado por Reinhard Woltman no século 18, o medidor tipo turbina é um rigoroso e fiável medidor de vazão para líquidos e gases. Consiste basicamente de um rotor provido de palhetas, suspenso numa corrente de fluido com seu eixo de rotação paralelo a direção do fluxo. O rotor é acionado pela passagem de fluido sobre as palhetas em ângulo; a velocidade angular do rotor é proporcional à velocidade do fluido que, por sua vez, é proporcional à vazão do volume.

Um sensor infravermelho detecta o movimento do rotor o sinal de saída é uma sequência de pulsos de tensão, em que cada pulso representa um pequeno volume determinado de líquido. O sinal detectado é linear com a vazão. Unidades eletrônicas associadas permitem indicar a vazão total e em tempo real, informando o consumo instantâneo, para fazermos este controle eletrônico foi utilizado um micro controlador baseado na arquitetura 8051 modelo AT89C8253 da fabricante ATMEL. A figura 2 mostra o transdutor de vazão do tipo turbina utilizado neste projeto.



Figura 2 - Transdutor de vazão tipo turbina.

O sensor infravermelho utilizado é composto por, um LED emissor e um receptor, que detecta os raios infravermelhos do LED emissor, gerando um pulso. A figura 3 representa uma vista em corte do modelo em CAD do transdutor de vazão, sendo que o item dez representa a posição do LED emissor de ondas infravermelhas e o onze o LED receptor.

ESC: 2:1

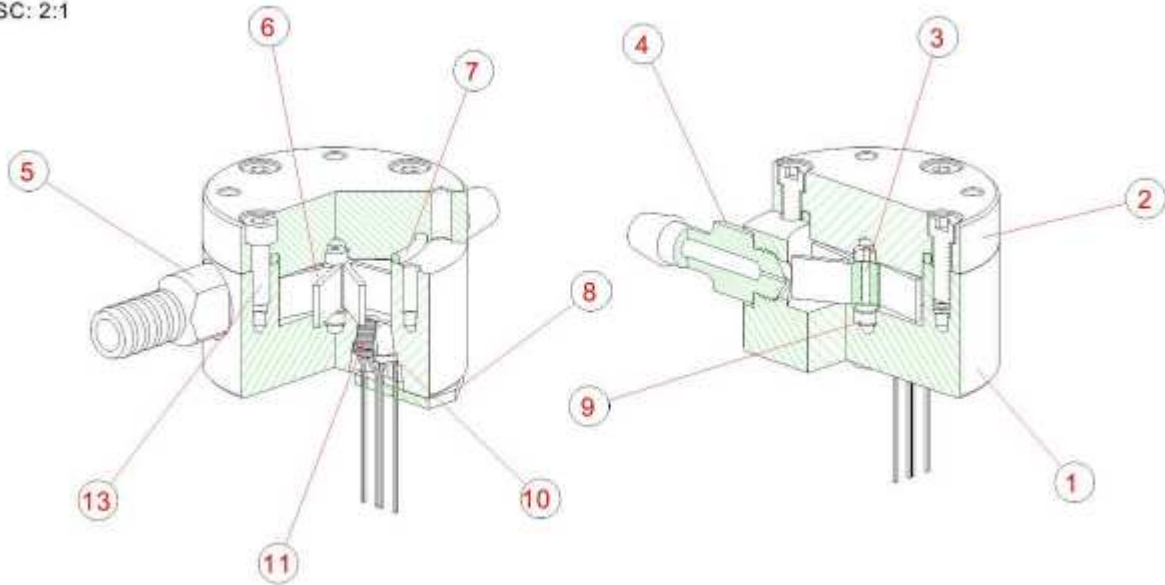


Figura 3 - Vista do modelo CAD em corte.

A turbina utilizada representada pelo item seis da figura 3 é feita de um material plástico, sendo assim resistente a corrosão, e composta por dez pás com um ângulo de 36° entre estas. A carcaça do transdutor foi usinada em alumínio, pois assim consegue-se uma usinagem mais precisa, com níveis de tolerâncias mais severos, a carcaça pode ser observada na figura 3, item um.

### 3. ANALISE DE GASES

A análise de gases de um veículo nos tempos atuais é um fator muito importante, pois ela identifica se o motor está emitindo para o ambiente um número excessivo de gases poluentes, identificando possíveis problemas no motor, como desregulagem de alguns componentes, falhas no sistema de injeção e ignição eletrônica ou alto consumo de combustível. Feita a análise de gases no motor com os diferentes sistemas de injeção eletrônica, foi feita uma análise do melhor se adaptava as normas brasileiras em vigor. Com isso obtivemos qual seria a melhor injeção eletrônica para suas devidas aplicações, a injeção original do motor Magneti Marelli foi a que melhor se comportou neste sentido, devido a sua configuração de fábrica privilegiar a economia de combustível e emissão de poluentes. As injeções como MoTeC e FuelTech, foram as que mais emitiram poluentes, já que são injeções específicas para automobilismo que partem do principio de se obter uma maior potência e torque. Está análise foi realizada em um analisador de gases da Tecnomotor o TM 132 (fig 4), o software utilizado foi o IGOR, este mostra os níveis de poluentes emitidos e analisa se estão dentro dos padrões exigidos.



Figura 4 - Analisador de gases Tecnomotor TM 132.

#### 4. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Em tempos de preços altíssimos de gasolina e álcool, a economia de combustível é algo muito importante, pois influencia diretamente o orçamento em grande parte da população, hoje a venda de carros utilitários caiu devido ao alto consumo de combustível, sendo que a de veículos 1.0 econômicos tem aumentado cada vez mais, devido a busca da população por carros que possam diminuir o custo do quilometro rodado em áreas urbanas.

Para nos ajudar na medição do consumo de combustível utilizamos o já citado transdutor de vazão tipo turbina. Com ele comparamos o consumo dos módulos de injeção eletrônica no motor FIAT instalado no dinamômetro de bancada, o teste realizado foi possível devido a utilização de um freio magnético (Fig. 5), que freia o motor em determinada rotação simulando uma carga, assim podemos analisar o torque do motor e o consumo de combustível em determinado tempo com uma determinada carga.



Figura 5 - Freio magnético do dinamômetro.

A figura 6 mostra o dinamômetro de bancada com o motor FIAT 1.6 16V.



Figura 6 - Motor FIAT 1.6 16V em bancada.

Tendo em vista o menor consumo de combustível, mudamos os parâmetros de injeção da FuelTech, MoTeC e MegaSquirt para isto, porém, tivemos uma grande perda de potencia e torque, as injeções com após as configurações tiveram um comportamento muito parecido em relação a consumo de combustível, pode-se perceber que a injeção original de fabrica, Magneti Marelli consumiu cerca de 10% mais que as outras onde tivemos a possibilidade de configurar os padrões de injeção, porém com a mudança destes parâmetros perdemos significativamente potência no motor.

O que podemos observar configurando as injeções para o menor consumo possível foi a dificuldade de acertar a MegaSquirt, por ser um sistema onde o usuário tem que mexer em diversas variáveis, o acerto desta torna-se mais difícil. Sistemas de injeção como a MoTeC e FuelTech, possuem um número menor de variáveis e uma didática melhor para configurá-las o que torna a configuração da injeção mais fácil e direta.

## 5. UTILIZAÇÃO DOS DADOS PARA APLICAÇÕES ESPECÍFICAS

Hoje em tempos de crise energética, em diversas partes do país para algumas empresas é mais barato utilizar geração própria de energia através de geradores acoplados a motores dieíséis, do que utilizar a energia da rede concessionária em horários de pico. Uma das funções deste projeto é buscar um conjunto de parâmetros para que se possa utilizar a melhor injeção eletrônica possível, com uma boa relação entre custo e benefício, onde se possa gerar energia elétrica com um melhor aproveitamento do motor e um nível menor de emissão de poluentes, criando assim uma alternativa de energia barata e com um nível menor de emissão de poluentes para pequenas e grandes empresas.

O uso dos dados coletados por este projeto pode ser utilizado em diversas áreas, uma delas que utiliza bastante a preparação de motores através da injeção eletrônica é o automobilismo, como por exemplo, em provas de rally onde os carros são preparados a cada etapa, de acordo com o trajeto a ser seguido sendo então o motor adaptado para ter um melhor desempenho de torque ou potência. Através deste projeto saberemos qual o sistema de injeção mais adequado, de acordo com a necessidade dos pilotos para cada tipo de prova, tornando mais rápido a preparação dos motores tendo em vista que o tempo é algo muito importante em provas desta modalidade. A figura 7 apresenta o layout do software de configuração da MoTeC, o V3 ECU Manager.

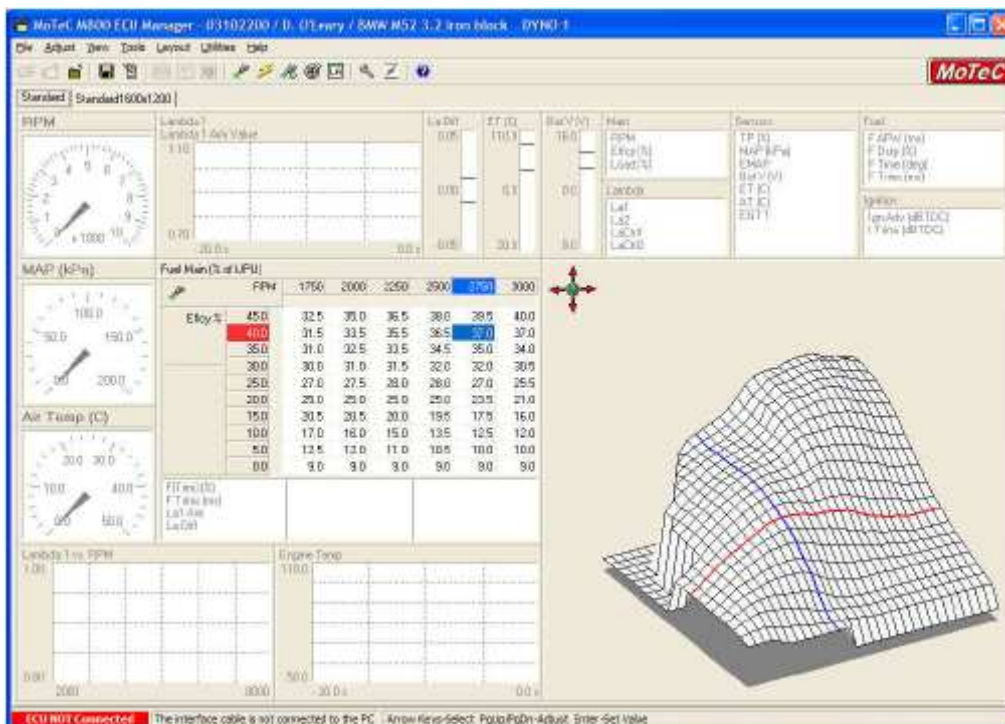


Figura 7 - Software V3 ECU Manager.

## 6. DADOS COLETADOS

Com a realização de diversos testes, com diferentes sistemas de injeção eletrônica em bancada, obtivemos dados suficientes para construir um mapa completo de comparação entre os sistemas de injeção eletrônica original, MegaSquirt, MoTeC e FuelTech, este mapa trás características construtivas, faixa de operação, complexidade, flexibilidade, facilidade de uso, quantidade de parâmetros controláveis, sensibilidade do sistema, custo e avaliação global de cada sistema de injeção. Através deste mapa completo, podemos avaliar a influencia dos ajustes realizados no motor e na injeção eletrônica nos resultados obtidos em potência, consumo de combustível e número de poluentes emitidos pelo motor. A tabela 1 apresenta o mapa comparativo entre os sistemas de injeção eletrônica.

Tabela 1- Mapa comparativo entre os diferentes sistemas eletrônicos analisados.

Injeção eletrônica	Facilidade de uso	Flexibilidade	Complexidade	Quantidade de parâmetros controláveis	Custo	Faixa de operação
Magneti Marelli	x	o	xx	o	x	x
MegaSquirt	xx	xxx	xx	xx	x	xx
FuelTech	xx	xxx	x	xx	xx	xx
MoTeC	xxx	xxx	x	xxx	xxx	xxx

x - Baixa  
xx - Média  
xxx - Alta  
o - Nenhuma

De acordo com o mapa apresentado na tabela 1, concluímos que o sistema de injeção mais completo, que possui características que o fazem ser bastante eficiente, tanto na área de automobilismo, como economia de combustível e em outras atividades como geração de energia elétrica através de motores estacionários, é a MoTeC, porém está também a que possui o maior custo dentre as outras analisadas. A FuelTech, não possui a mesma funcionalidade da MoTeC, porém por possuir um módulo de injeção portátil e uma interface didática, ela se adapta muito bem a aplicações automobilísticas de nível médio não tendo um custo alto e podendo atender a estas necessidades com sucesso. O uso em veículos urbanos já não se faz tão eficiente para a FuelTech, em relação as outras ela apresentou um nível de consumo ligeiramente maior e conseqüentemente um nível maior na emissão de poluentes. A MegaSquirt se trata da injeção eletrônica de menor custo entre as analisadas, por se tratar de um projeto "open source". Ela possui uma interface simples com o usuário através de comunicação serial com o computador, para aplicações como geração de energia ela tem grande potencial, outra aplicação a qual a MegaSquirt se adapta muito bem, é a atualização eletrônica de veículos antigos, como por exemplo adaptar a automóveis e motocicletas carburadas, que consomem mais combustível e emitem mais poluentes, um sistema de injeção eletrônico mais econômico e eficiente.

## **7. REFERÊNCIAS**

- [1] RAMOS,C.; FONTANA, F. ; VANDRESEN, M.; PEREIRA, M. Ottolization Of Diesel Engines Using Natural Gas (CNG) And Biogas. Proceedings of COBEM 2009. 20th International Congress of Mechanical Engineering: ABCM. November 15-20, 2009, Gramado, RS, Brazil.
- [2] RAMOS,C.; FONTANA, F. ; VANDRESEN, M.; PEREIRA, M. Ottolization Of Diesel Engines Using Natural Gas (CNG) And Biogas. Congresso SAE BRASIL 2009. 6 de outubro de 2009, São Paulo, SP, Brasil.
- [3] BRASIL. Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE - instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Portaria No 18 /1986.
- [4] BRASIL. Lei Federal nº 8723 de 28 de outubro de 93. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10813: Determinação da emissão do gás de escapamento emitido por motor Diesel. 1985.
- [5] BOSCH; Manual de Tecnologia Automotiva. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2005. 25ª Edição.