

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DE SANTO ANDRÉ**

MOTOCICLETA TRI FLEX GNV

**Luciano Mariano Rodrigues Gomes
Renato Luiz Paixão
Ricardo Edval da Fonseca**

MOTOCICLETA TRI FLEX GNV

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Tecnologia de Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva sob orientação do Me. Cleber Willian Gomes e do co-orientador Prof. Marco Aurélio Fróes.

Santo André – SP
2013

Faculdade de Tecnologia de Santo André

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 26 DE OUTUBRO DE 2013.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "MOTOCICLETA TETRA FLEX
GNV" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

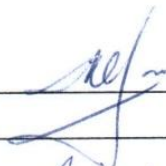
PRESIDENTE:

PROF. MSC. CLEBER WILLIAN GOMES

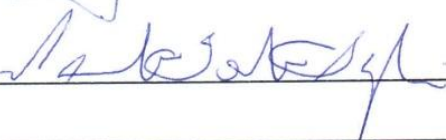


MEMBROS:

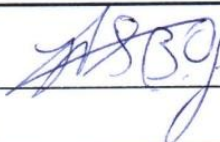
PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES



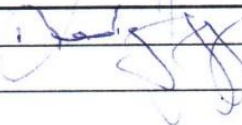
ENG. PAULO TOSHIO SUZUKI



SR. HUGO BERNARDES GONÇALVES

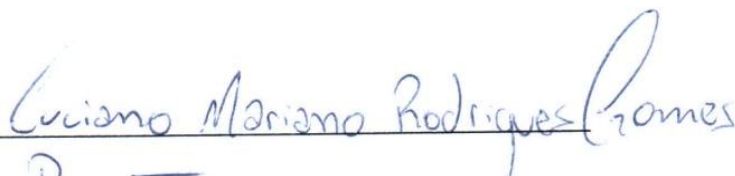


SR. RODRIGO FAGGI

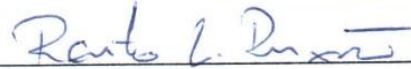


ALUNOS:

LUCIANO MARIANO RODRIGUES GOMES



RENATO LUIZ PAIXÃO



RICARDO EDVAL DA FONSECA



Dedicamos este trabalho a nossas famílias,
namoradas e aos nossos amigos que sempre estiveram próximos e nos apoiando durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e principalmente aos colegas de sala que mantiveram estímulos nos momentos mais árduos desta jornada. Agradecemos aos professores e colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

Agradecemos a todos os funcionários do Instituto Mauá de Tecnologia em especial ao Sr. Renato Romio que nos concedeu a utilização dos laboratórios de análises de gases e desempenho de motocicletas e ao Sr. Hugo Bernardes que nos apoiou durante os ensaios realizados.

Agradecemos também a empresa Chiptronic por nos fornecer o scanner para motos Motodiag, que nos ajudou muito nos testes e na adaptação do kit GNV 5ª geração.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

Os sistemas de gás natural veicular surgiram como uma alternativa eficaz para reduzir a dependência de outras fontes de energia, além de ser uma fonte menos agressiva ao meio ambiente. Atualmente o GNV é bastante utilizado nos veículos devido sua redução de gastos com combustível em até 70%. Esse combustível proporciona também uma redução significativa de poluentes emitidos à atmosfera.

Baseado neste fato a ideia inicial deste projeto foi desenvolver um sistema de injeção eletrônica para GNV em um motor monocilíndrico que tenha essa tecnologia em funcionamento no combustível líquido, com o objetivo de reduzir ao máximo os índices de poluentes emitidos à atmosfera, com desempenho similar ao de um motor alimentado por gasolina e/ou etanol, mas com uma grande economia nos valores.

Para gerenciar o motor no GNV utilizou-se um *kit* GNV 5ª geração ZAVOLI. Como resultados foram apresentados a comparação dos níveis de emissões e o desempenho de potência do motor com o sistema GNV e o sistema original a gasolina e etanol.

Palavras chaves: gás natural veicular GNV, injeção eletrônica, motocicleta.

ABSTRACT

The vehicular natural gas systems have emerged as an effective alternative to reduce the dependence on other energy sources, apart from being a source less aggressive to the environment. Nowadays CNG is frequently used in vehicles because of its reduced fuel costs by up to 70%. This fuel also provides a significant reduction in pollutants.

Based on this initial idea of this project was to develop an electronic injection system to CNG in a single cylinder engine that has this technology running on liquid fuel, aiming to minimize the levels of pollutants in the atmosphere, with performance similar to an engine fueled by gasoline and / or ethanol, but with a great economy in values.

To manage the CNG engine will use a module a 5th generation CNG kit donated by Zavoli WMTM. Results were presented as a comparison of emission levels and performance of engine power to the system and the system CNG gasoline.

Key words: vehicular natural gas CNG, fuel injection, motorcycle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO DE MCI DE 4 TEMPOS (EXTRAÍDO DE PUJJATI, 2007).	13
FIGURA 2 - CICLO DE QUATRO TEMPOS DE UM MCI DE IGNIÇÃO POR CENTELHA (EXTRAÍDO DO PUJJATI, 2007)	14
FIGURA 3 - SINAL DE RESPOSTAS DO SENSOR DE OXIGÊNIO EM FUNÇÃO DE LAMBDA.....	18
FIGURA 4 - POSICIONAMENTO DO INJETOR DE COMBUSTÍVEL EM UM SISTEMA MONOPONTO.	18
FIGURA 5 - POSICIONAMENTO DOS INJETORES EM UM SISTEMA MULTIPONTO	19
FIGURA 6 - EMISSÃO DE CO E HC EM FUNÇÃO DO COEFICIENTE DE AR λ	21
FIGURA 7 - REDUTOR DE PRESSÃO	24
FIGURA 8 - ELETROINJETORES.....	25
FIGURA 9 - UNIDADE DE CONTROLE ELETRÔNICO DA INJEÇÃO DO GNV	25
FIGURA 10 - FILTRO GNV	26
FIGURA 11 - CHAVE COMUTADORA	26
FIGURA 12 - CILINDRO 2M ³ COMERCIALIZADO NA ARGENTINA PELA EMPRESA ECOPOS	27
FIGURA 13 - CALIBRAÇÃO DO MOTOR COM CILINDRO 7,5M ³ EXTERNO	28
FIGURA 14 - MOTOCICLETA NO LABORATÓRIO.....	30
FIGURA 15 - BASELINE DESEMPENHO.....	32
FIGURA 16 - GRÁFICO: EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	33
FIGURA 17 - GRÁFICO EMISSÃO DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).	33
FIGURA 18 - GRÁFICO: EMISSÃO DE HIDROCARBONETO (HC).	34
FIGURA 19 - GRÁFICO: EMISSÃO DE OXIGÊNIO (O ₂).....	34
FIGURA 20 - SISTEMA GNV 5ªGERAÇÃO.	35
FIGURA 21 - SOFTWARE ALISEI DE INTERFACE COM SISTEMA GNV.	36
FIGURA 22 - DESEMPENHO E24, E100 E GNV.	37
FIGURA 23 - EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	38
FIGURA 24 - GRÁFICO DE EMISSÕES DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	39
FIGURA 25 - GRÁFICO: EMISSÃO DE HIDROCARBONETO (HC).	39
FIGURA 26 - GRÁFICO: EMISSÃO DE OXIGÊNIO (O ₂).....	40
FIGURA 27 - MAPA DE CALIBRAÇÃO DO MÓDULO GNV.	41
FIGURA 28 - TELA DE CONFIGURAÇÃO ROTAÇÃO ALISEIN.	41
FIGURA 29 - GRÁFICO DE DESEMPENHO.	42
FIGURA 30 - EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	43
FIGURA 31 - EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	44
FIGURA 32 - EMISSÃO DE HIDROCARBONETO (HC).....	44
FIGURA 33 - DETALHE EMISSÃO DE HIDROCARBONETO (HC).	45
FIGURA 34 - EMISSÃO DE OXIGÊNIO (O ₂).....	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CILINDROS COMERCIALIZADOS NO BRASIL E COMPARATIVO DA CAPACIDADE DOS RESERVATÓRIOS DE COMBUSTÍVEL.....	27
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DA MOTOCICLETA HONDA CG FAN 150 ESI – FONTE: MANUAL HONDA	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO	11
1.2	CONTEÚDO	11
1.3	METODOLOGIA	12
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	13
2.1	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	13
2.2	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA COM IGNIÇÃO POR CENTELHA	13
2.3	FUNCIONAMENTO DO CICLO OTTO 4 TEMPOS	14
2.4	SISTEMA DE GERENCIAMENTO ELETRÔNICO	16
2.4.1	SENSOR DE PRESSÃO	16
2.4.2	SENSOR DE POSIÇÃO VÁLVULA BORBOLETA	17
2.4.3	SENSOR DE ROTAÇÃO	17
2.4.4	SENSOR DE OXIGÊNIO	17
2.4.5	SISTEMA DE INJEÇÃO INDIRETA MONOPONTO	18
2.4.6	SISTEMA INJEÇÃO INDIRETA MULTIPONTO	19
2.5	EMIÇÃO GASES DE ESCAPE	19
2.5.1	EMIÇÃO DE CO	20
2.5.2	EMIÇÃO DE HC.....	21
2.6	GÁS NATURAL.....	22
2.6.1	GÁS NATURAL NO BRASIL.....	22
2.7	SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA MULTIPONTO DE GNV	24
2.7.1	REDUTOR DE PRESSÃO.....	24
2.7.2	ELETROINJETOR	25
2.7.3	UNIDADE DE CONTROLE ELETRÔNICO	25
2.7.4	FILTRO GNV	26
2.7.5	CHAVE COMUTADORA	26
2.7.6	CILINDRO DE TESTES	27
3	TESTES.....	28
3.1	METODOLOGIA	29
3.2	DESCRIÇÃO DO ENSAIO	30
3.3	BASELINE	32
3.3.1	DESEMPENHO	32
3.3.2	EMIÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	33
3.3.3	EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	33
3.3.4	EMIÇÃO HIDROCARBONETOS (HC)	34
3.3.5	EMIÇÃO OXIGÊNIO (O ₂).....	34
3.4	INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO SISTEMA GNV	35
3.5	PRIMEIRO TESTE COM GNV	36
3.6	LIMITAÇÕES DO KIT GNV 5ª GERAÇÃO	36
3.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO 1º TESTE COM GNV.....	37
3.7.1	GRÁFICO DESEMPENHO	37
3.7.2	GRÁFICO DE EMIÇÃO MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	38
3.7.3	GRÁFICO DE EMIÇÃO DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	38
3.7.4	GRÁFICO DE EMIÇÃO DE HIDROCARBONETOS (HC).....	39
3.7.5	GRÁFICO: EMIÇÃO DE OXIGÊNIO (O ₂)	40
3.8	SEGUNDO TESTE COM GNV E NOVA CALIBRAÇÃO	40
3.8.1	GRÁFICO: DESEMPENHO	42
3.8.2	GRÁFICO: EMIÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	43
3.8.3	GRÁFICO: EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	43
3.8.4	GRÁFICO: EMIÇÃO DE HIDROCARBONETO (HC)	44

3.8.5	GRÁFICO: EMISSÃO DE OXIGÊNIO (O ₂)	45
4	CONCLUSÃO	46
5	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento dos veículos na década de oitenta do século XVIII, onde a maior preocupação era o meio de se locomover e ter autonomia para ir cada vez mais longe, trouxe consigo uma reação, com o aumento da frota veio o aumento dos poluentes, que atualmente se tornou uma das maiores preocupações mundiais. O aumento da motorização individual, decorrente da deficiência crônica dos sistemas de transporte de massa, tem intensificado o tráfego no Brasil e em países semelhantes. Além de causar congestionamentos constantes, com a consequente degradação ambiental, devido à poluição do ar e sonora provocada pelos veículos automotores, o crescimento do número de veículos eleva os custos socioeconômicos e provoca sérios danos à saúde humana, devendo ser controlados através da adoção de medidas eficazes de controle da poluição veicular, direta ou indiretamente.

Atualmente o Brasil registra uma frota de pouco mais de 75 milhões de veículos automotores [DENATRAN], na qual 25% são motocicletas o que representa aproximadamente 18 milhões de motocicletas [Abraciclo].

No ano de 2012 foram produzidas 2.136.891 unidades de motocicletas no Brasil e seu perfil de utilização é predominante no segmento econômico de prestação de serviços de entrega em regiões urbanas [Abraciclo].

Assim como os carros devem atender o PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores) que prevê a diminuição de emissão de poluentes, as motocicletas deve atender o PROMOT (Programa de Controle de Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares) que está em sua terceira fase e obriga os fabricantes de motocicletas a atingirem níveis de monóxido de carbono (CO) iguais aos carros fabricados atualmente que atingem o limite de 2g/km.

Como proposta futura para diminuição dos níveis de emissões de poluentes e cumprimento dos limites estabelecidos pelas legislações será necessária adoção de medidas sustentáveis e combustíveis alternativos. Carros e motocicletas elétricos estão sendo estudados e desenvolvidos para atuarem simultaneamente ou substituírem os motores a combustão. Outra alternativa para diminuir os níveis de emissões de poluentes é a utilização de gás natural veicular (GNV) que hoje é bastante utilizada em carros, além de diminuir os níveis de emissões de poluentes traz uma redução econômica significativa para o usuário além de participar de

programas que dão bônus nos impostos para proprietários de veículos com utilização deste combustível .

1.1 Objetivos e motivação

Este trabalho tem o objetivo de estudar sobre as tecnologias de conversores que possibilitam o uso de gás em uma motocicleta originalmente movida à gasolina e/ou etanol a fim de analisar os níveis de poluentes lançados à atmosfera e o desempenho dos motores que utilizam deste combustível. Basicamente o trabalho busca, experimentalmente, analisar os resultados das emissões de poluentes provocadas por um motor monocilíndrico alimentado por um combustível líquido e um combustível gasoso. Para isto serão realizados alguns testes de emissões de poluentes utilizados por órgãos regulamentadores do Brasil.

A motivação para este trabalho veio da possibilidade de implantar no Brasil este sistema de motocicletas movidas a gás natural veicular (GNV), e também conhecer o conceito de um sistema alimentado por combustível gasoso assim como verificar na prática se o uso do gás natural apresenta eficiência na redução dos níveis de emissões de poluentes de um motor monocilíndrico de ciclo Otto movido a combustíveis líquidos.

1.2 Conteúdo

Este trabalho estará assim dividido: Capítulo 2 discorrerá sobre uma revisão bibliográfica mostrando os caminhos percorridos para que fosse possível unir todos os conjuntos deste trabalho; no capítulo 3 mostra o mercado atual de motocicletas no Brasil, legislações vigentes que visam à regulamentação dos níveis de emissões de poluentes veiculares; no capítulo 4 serão apresentados os ensaios e os resultados obtidos, estratificando-os para um estudo comparativo entre o desejado e o realizado. Será mostrado se a meta foi atingida e quais foram às dificuldades encontradas neste projeto; no capítulo 5 discorrerá sobre as conclusões obtidas dos resultados e a proposição de novos estudos e desafios.

1.3 Metodologia

A primeira etapa dos testes baseou-se no veículo original alimentado com gasolina comum brasileira tipo C (gasolina com 25% de álcool anidro) e etanol comum brasileiro para criar-se uma *baseline* que servirá de referência para comparar os níveis de emissões de cada combustível. Após os testes da *baseline* foi adaptado um sistema de alimentação de combustível gasoso em um motor monocilíndrico de 4 tempos de uma motocicleta 150 cilindradas bi-combustível. O motor adaptado, originalmente alimentado por gasolina e etanol, passou por duas etapas de avaliação de nível de emissões de poluentes.

A segunda etapa consistiu-se em adquirir os níveis de emissões de poluentes com o sistema adaptado, utilizando o GNV para avaliar e comparar com o sistema original adquiridos na primeira etapa.

A segunda parte do projeto destinou-se a adaptação e calibração do motor para aquisição dos melhores níveis de emissões de poluentes e trabalhar com desempenho similar ao original alimentado por combustível líquido.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

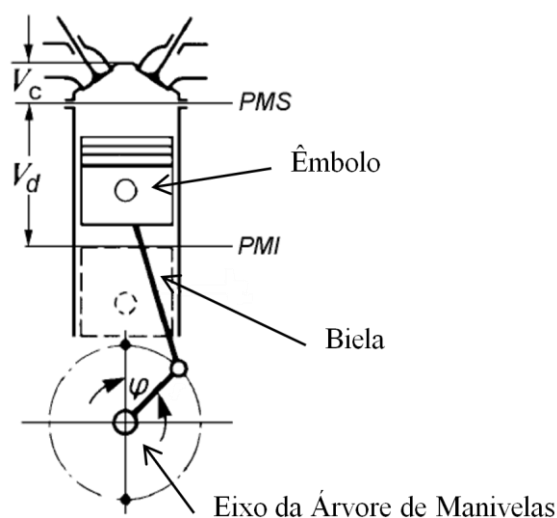
2.1 Motores de combustão interna

Motores de combustão interna são aqueles que convertem a energia química, que contém no combustível, em energia térmica através da combustão, que por sua vez produz trabalho mecânico. Através da combustão dos componentes de uma mistura de ar e combustível a energia química é transformada em calor. A conversão da energia térmica em mecânica feita é através do aumento de pressão do ambiente, produzida pela combustão, que realiza trabalho à medida que os gases gerados se expandem (Bosch, 2005). A partir desse conceito a primeira seção deste capítulo tratará dos conceitos básicos de um motor de combustão interna e seu sistema de controle eletrônico.

2.2 Motores de Combustão Interna Com Ignição por Centelha

Nos motores de combustão interna com êmbolo e ignição por centelha, é através de um sistema biela-manivela, conforme é mostrado na *Figura 1*, que o movimento alternativo quando o êmbolo é empurrado pelos gases de expansão é transformado em um movimento rotativo da árvore de manivelas, sendo o curso total de seu deslocamento (V_d) definido entre o ponto morto superior (PMS) e o ponto morto inferior (PMI). (Pujatti, 2007).

Figura 1 - Diagrama esquemático da câmara de combustão de MCI de 4 tempos (Extraído de Pujatti, 2007).



Fonte: Bosch, 2005.

Na *Figura 1* os parâmetros geométricos são definidos como:

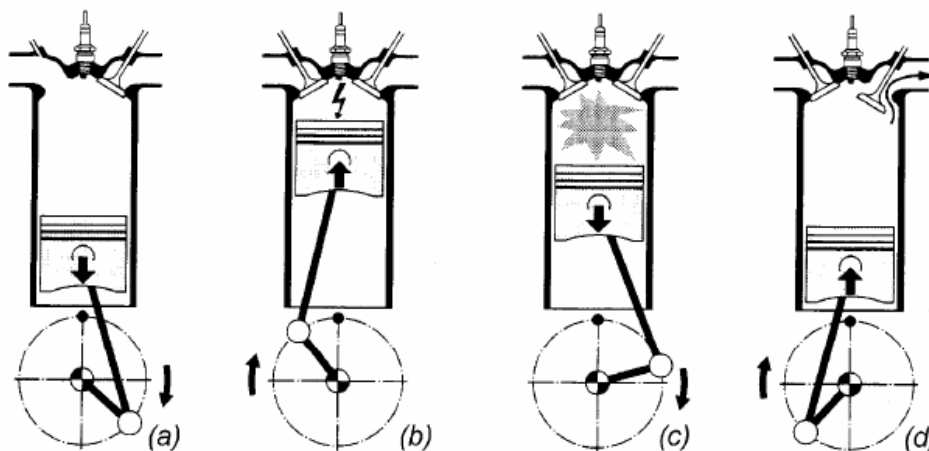
- V_d – volume deslocado pelo movimento do pistão ao longo do curso de PMS a PMI. A cilindrada de um motor é definida pelo V_d multiplicado pelo número de cilindros do motor
- V_c – volume da câmara de combustão que é delimitado pelo cabeçote e o pistão em PMS.
- Taxa de compressão – relação matemática que indica quantas vezes a mistura é comprimido dentro da câmara de combustão antes que inicie o processo de oxidação, definida pela equação (Pujjati, 2007):

$$rc = \frac{\text{volume total do cilindro}}{\text{volume mínimo do cilindro}} = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

2.3 Funcionamento do Ciclo Otto 4 tempos

Os quatro tempos que classificam esses motores ocorrem de maneira sincronizada entre o movimento alternativo dos pistões e um conjunto de válvulas presentes no interior da câmara de combustão (Pujjati, 2007). Esse mecanismo controla a admissão e a exaustão do motor, como apresentado na *Figura 2*.

Figura 2 - Ciclo de quatro tempos de um MCI de ignição por centelha (extraído do Pujjati, 2007)



Fonte: Bosch, 2005.

O primeiro tempo denominado de admissão é representado pela *Figura 2-a*. É caracterizada pelo movimento do pistão de PMS ao PMI, neste tempo a válvula de admissão está

aberta e a de descarga está fechada. Nessa condição, com o movimento do pistão é gerado uma queda de pressão devido o aumento do volume do cilindro. Esta queda de pressão introduzirá a mistura, ar / combustível formado no coletor de admissão, no interior do cilindro.

Devido ao sincronismo das válvulas e do eixo de manivelas, a válvula de admissão se fecha completamente no instante em que o pistão atinge o PMI e inicia o movimento ascendente em direção ao PMS, comprimindo a mistura admitida e iniciando o tempo denominado de compressão (*Figura 2-b*). Devida à necessidade da introdução de energia para a ignição da mistura comprimida, uma centelha elétrica produzida pelo sistema de ignição é introduzida no ciclo através da vela de ignição, promovendo o início da combustão dentro do cilindro.

A combustão da mistura promove um aumento da pressão no cilindro, fazendo com que a força exercida sobre o pistão no PMS seja suficiente para vencer as inércias e perdas mecânicas e movimentá-lo até o PMI (*Figura 2-c*), transmitindo parte dessa força ao eixo de manivelas através da biela. Esse tempo é denominado de expansão e termina com o pistão no PMI e com a abertura da válvula de descarga.

A abertura da válvula de descarga inicia o tempo de exaustão, onde os gases provenientes da combustão da mistura admitida pelo motor são expelidos para fora do cilindro durante a movimentação ascendente do pistão, como mostra a *Figura 2-d*. Ao término desse tempo, o pistão encontra-se no PMS, sincronizando o fechamento da válvula de descarga e a abertura da válvula de admissão para iniciar um novo ciclo.

2.4 Sistema de Gerenciamento Eletrônico

Os sistemas de gerenciamento eletrônico de motores a combustão interna são capazes de controlar os parâmetros de funcionamento do motor otimizando seu rendimento. O principal objetivo destes sistemas é fornecer o torque demandado pelo condutor enquanto assegura baixo consumo de combustível, aumentando a vida útil do motor e reduzindo a emissão de poluentes (Barbosa, 1997).

O sistema recebe sinais de diversos sensores instalados no veículo e no motor, que informam ao módulo as condições de funcionamento em que o motor se encontra. Estes sensores serão mostrados nos tópicos a seguir. A partir destes e de outros dados, o módulo recebe os sinais analógicos desses sensores já convertidos em sinais digitais e identifica e calcula estratégias de funcionamento que dependem da demanda desejada e da condição de operação do motor. A partir destes cálculos são gerados sinais de comando aos atuadores do sistema (Pujatti, 2007).

Atuadores são elementos mecanizados que recebem os comandos do módulo e os executam. Dentre os atuadores de um sistema veicular estão às válvulas injetoras e velas de ignição na qual estão descritas a seguir.

2.4.1 Sensor de Pressão

O sensor de pressão no coletor de admissão envia ao módulo os sinais referentes à variação de pressão do ar no coletor de admissão que posteriormente será admitido no cilindro. Este tipo de sensor pode existir na forma *Strain Gage* ou Capacitivo. O primeiro consiste em um diafragma de silício com quatro resistências que ao se deformar pela variação da pressão no coletor altera a resistência os elementos resistivos gerando uma variação na resistência e consequentemente uma queda de tensão. Já o tipo capacitivo consiste em duas placas condutoras em paralelo, separadas por um material dielétrico e uma distância x . A variação desta distância x com a variação da pressão varia a capacitância do sensor (Milhor, 2002).

2.4.2 Sensor de Posição Válvula Borboleta

O sensor de posição da válvula borboleta (TPS) é responsável por informar ao módulo a posição da borboleta de aceleração, permitindo que o módulo saiba qual a demanda de carga que está sendo exigida pelo condutor, entre outros parâmetros. São formados por potenciômetros - circuito divisor de tensão - que gera uma tensão linear ao ângulo de abertura da válvula (Milhor, 2002).

2.4.3 Sensor de Rotação

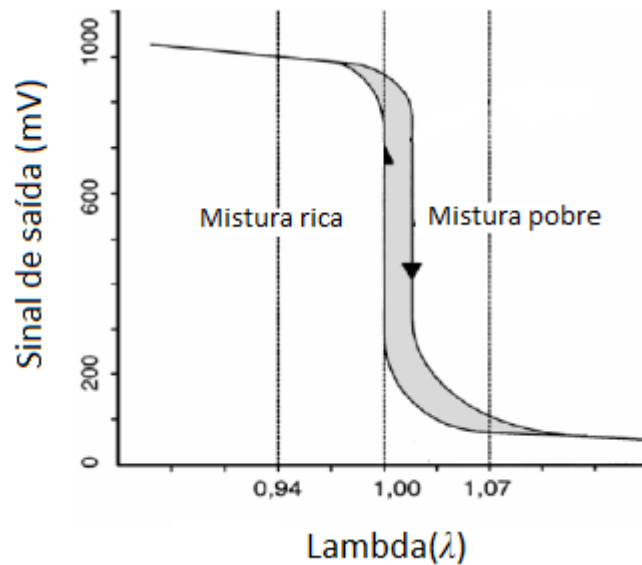
O sensor de rotação do motor indica o tempo em que cada cilindro se encontra em relação ao eixo de manivelas e a rotação do motor. Esses dados são muito importantes no cálculo do tempo de injeção e no momento em que o injetor deverá injetar o combustível. O sensor é baseado no princípio da relutância magnética, onde um material magnético fixado em frente a uma roda dentada, por exemplo, gera uma tensão fornecida pela variação de campo magnético provocado pela passagem de um dente pelo sensor (Milhor, 2002).

2.4.4 Sensor de Oxigênio

O Sensor de Oxigênio, também conhecido como Sonda Lambda é responsável pela captura de sinais referentes à comparação de oxigênio residual nos gases de escape para saber se a mistura está estequiométrica. Os sinais enviados por este sensor ao módulo são utilizados na correção da mistura durante o funcionamento do motor. A sonda Lambda é formada por dois eletrodos separados por camadas de óxidos de Zircônia (ZrO_2) ou de Titânio (TiO_2). Um dos eletrodos fica exposto aos gases de escape e o outro ao ar ambiente. Os elétrons livres presentes nos íons de oxigênio se movimentam através das camadas de zircônia ou titânio em sentido ao eletrodo exposto aos gases de escape - devido a maior deficiência de oxigênio dos gases de escape em relação ao ar ambiente. Este movimento gera uma tensão que depende da diferença de oxigênio sentida pelos eletrodos (Pujatti, 2007).

A função do fator λ apresenta um comportamento não linear na resposta em tensão do Sensor Lambda. A tensão nominal de saída desse sensor é geralmente de 100 a 900 mV. Os valores representam respectivamente condições de mistura pobre ($\lambda > 1,05$) e de mistura rica ($\lambda < 0,95$). O gráfico da *Figura 3* mostra a variação do sinal lambda (Pujatti, 2007).

Figura 3 - Sinal de respostas do Sensor de oxigênio em função de Lambda.

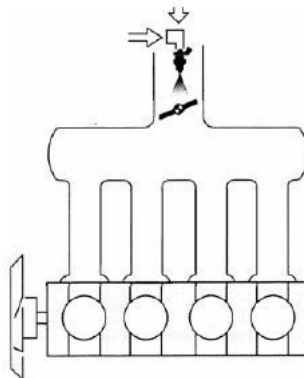


Fonte: (adaptado de Pujatti, 2007).

2.4.5 Sistema de Injeção Indireta Monoponto

Consiste de um único injetor posicionado antes da válvula borboleta e que é responsável pelo fornecimento de todo o combustível consumido pelo motor, como mostrado na *Figura 4*. Injetores deste tipo devem ter uma grande vazão de combustível e trabalhar sempre com o dobro da frequência do motor por que realizam uma injeção a cada volta completa a cada ciclo de admissão realizada pelos cilindros (Barbosa, 1997).

Figura 4 - Posicionamento do injetor de combustível em um sistema monoponto.

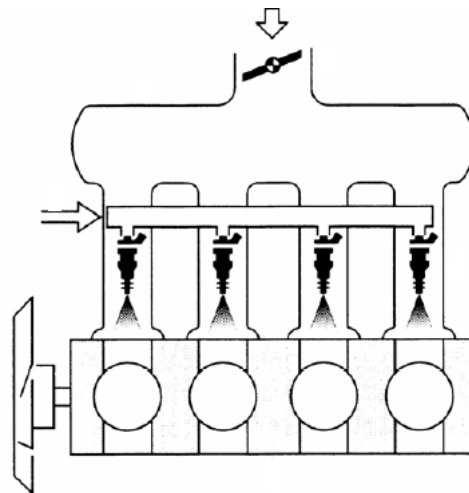


Fonte: Extraído de Pujatti, 2007.

2.4.6 Sistema Injeção Indireta Multiponto

Neste sistema existe um injetor para cada cilindro do motor. Os injetores são localizados antes da válvula de admissão cada cilindro, conforme esquema mostrado na *Figura 5*. Sistemas multipontos foram desenvolvidos com objetivo de melhorar a mistura e reduzir o acúmulo de combustível nas paredes do coletor de admissão (Pujatti, 2007).

Figura 5 - Posicionamento dos injetores em um sistema Multiponto



Fonte: Extraído de Pujatti, 2007.

2.5 Emissão Gases de Escape

A exaustão do motor de combustão interna ciclo Otto consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível. A gasolina comum brasileira tipo C (contém em média 24% de etanol) é o combustível mais utilizado nos veículos com motores de ciclo Otto. A gasolina é uma mistura de vários hidrocarbonetos e suas propriedades são ajustadas para fornecer as características operacionais desejadas, e o etanol (álcool etílico) é uma mistura pura, conforme MILHOR (2002).

Ainda conforme MLHOR (2002) o carbono e o hidrogênio, presentes nos combustíveis, durante o processo de combustão reagem com o oxigênio do ar liberando energia e formando vários produtos químicos (produtos da reação). Se a combustão fosse perfeita resultaria apenas em dióxido de carbono CO_2 e água H_2O , embora o dióxido de carbono colabore

com a degradação da camada de ozônio e tenha influência no efeito estufa ele não é considerado diretamente prejudicial ao meio ambiente.

Porém, como a combustão não ocorre perfeitamente, além do H_2O e CO_2 estão presentes nos gases de escape o monóxido de carbono, CO, hidrocarbonetos não queimados, HC, entre outros.

A mistura estequiométrica, razão ar-combustível para se ter uma combustão completa, para a gasolina é de aproximadamente de 13:1, ou seja, 13 partes de gasolina para 1 parte de ar, e de 9:1 para o etanol. Para se detectar o quanto a mistura ar-combustível desvia do valor estequiométrico, define-se o coeficiente de ar lambda, (λ), como sendo a relação entre mistura ar-combustível admitida no interior do cilindro e a mistura estequiométrica:

$$\lambda = \frac{\text{ar/combustível admitida}}{\text{mistura estequiométrica}}$$

Assim podemos classificar da seguinte forma:

$\lambda < 1,0$ – mistura rica (deficiência de ar)

$\lambda = 1,0$ – mistura estequiométrica

$\lambda > 1,0$ – mistura pobre (excesso de ar)

A seguir serão apresentados os principais gases poluentes emitidos à atmosfera por um motor Otto, e seus efeitos tóxicos.

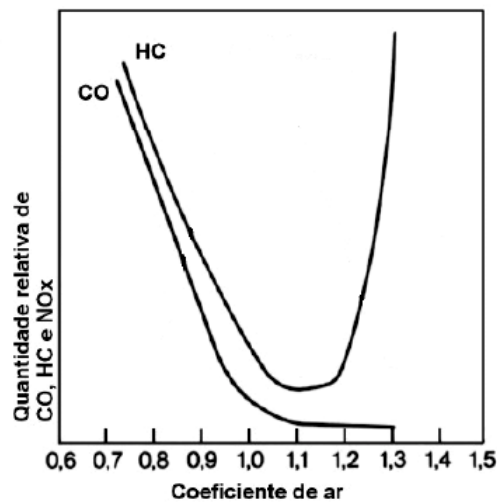
2.5.1 Emissão de CO

Segundo MILHOR (2002), em condições de mistura rica, o monóxido de carbono é produto da combustão incompleta da mistura, portanto, a emissão de CO é fortemente dependente da razão ar-combustível. A concentração de CO no cilindro é alta durante a combustão, enquanto que na subsequente fase de expansão, uma porção é oxidada formando CO_2 .

Por outro lado, em condições de mistura pobre (excesso de ar), a emissão de CO é baixa e é proporcional ao λ , sendo dependente da não homogeneidade da mistura e de flutuações em sua composição entre cada ciclo.

A emissão de CO em função da constante de ar pode ser vista na *Figura 6*.

Figura 6 - Emissão de CO e HC em função do coeficiente de ar λ



Fonte: Adaptação MILHOR (2002).

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro. Esse gás é tóxico devido à sua alta afinidade com a hemoglobina do sangue, o que causa falta de oxigênio no organismo e pode causar o óbito.

2.5.2 Emissão de HC

MILHOR explica também que, como no caso do CO, deficiência de ar leva a combustão incompleta da mistura ar-combustível, e portanto, à emissão de hidrocarbonetos não queimados. Desta forma, a alta emissão de HC, ocorre na faixa de mistura rica e diminui à medida que λ aumenta. Na faixa de mistura rica a emissão de HC aumenta novamente. Conforme pode ser visto na *Figura 6* a região de emissão mínima de HC fica em torno de $\lambda = 1,1$ a $1,2$.

2.6 Gás Natural

A primeira notícia que se tem do uso de substâncias gasosas como combustíveis foi feita pelos chineses, por volta do século IX. Segundo os registros da época, os chineses canalizavam um gás combustível por meio de tubos de bambu e usavam-no para iluminação.

A primeira produção de um gás combustível proveniente do carvão ocorreu por volta de 1665, na Inglaterra, e sua primeira utilização foi também em iluminação, em 1792. Pouco tempo depois, as companhias de gás começaram a se organizar e a fabricação começou a ser feita em bases comerciais, construindo uma infraestrutura de transporte que será utilizada, posteriormente, pelo gás natural.

Desde a Revolução industrial, no século XVIII, a expansão demográfica vem deixando cada vez mais evidente que nem os recursos naturais, nem a força de recuperação da natureza são ilimitados. Por isso, é preciso buscar novas formas de aproveitamento das fontes de energia.

A substituição do gás de carvão pelo gás natural ocorreu em torno da década de 1950, nos EUA. Até a metade do século XX os norte-americanos eram responsáveis por cerca de 95% do consumo mundial de gás natural. Devido a falta de petróleo um dos principais países a desenvolver o uso de gás combustível em automóveis foi a Itália a partir da década de 1950. No início era utilizado GLP (gás liquefeito do petróleo). Em seguida foi utilizado o gás natural veicular (Gás Metano).

A utilização do gás natural como combustível para veículos vem ganhando espaço crescente. São mais de 2 milhões de unidades instaladas no Brasil, e por 47 países da Europa, América do Norte e do Sul e Ásia, como Alemanha, Estados Unidos, China e Brasil (GAS-NET).

2.6.1 Gás Natural no Brasil

Com as descobertas de óleo e gás natural na Bahia, em 1947, iniciou-se seu uso em indústrias, desta região. Em 1980 ocorreram grandes descobertas de óleo e gás natural na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro. A distribuição para São Paulo iniciou em 1988.

O programa brasileiro teve início no final da década de 1980 com a elaboração do PLANGAS - Plano Nacional de Gás para uso no transporte. O plano tinha como objetivo a substituição do óleo Diesel uma vez que esse combustível corresponde a aproximadamente 52% do consumo energético do país, enquanto o gás natural representava apenas 1,8% desse total.

Nesta oportunidade foram criadas as primeiras comissões governamentais para o estudo da substituição do óleo Diesel utilizado pelos veículos de transporte de carga e de passageiros (ônibus).

No entanto, a pequena diferença entre os preços do gás natural e do óleo Diesel inviabilizava economicamente a conversão da frota nacional. Aliados a esses fatores, a falta de infraestrutura de abastecimento dificultava a implantação do programa. Para ampliar o projeto e criar uma estrutura de abastecimento, foi liberado no final de 1991 o uso de Gás Natural para táxis, posteriormente para as frotas cativas de empresas e inaugurou-se o primeiro posto público de abastecimento no Brasil, que está localizado no Rio de Janeiro.

Somente a partir desta medida, o programa de gás natural brasileiro iniciou seu desenvolvimento efetivamente. Viabilizou-se, então, o gás natural como combustível alternativo, seja para o álcool, a gasolina ou mesmo para o Diesel - em função das suas qualidades, do seu preço competitivo, reservas e aspectos positivos em relação ao meio ambiente.

A conversão para o gás natural tornou-se, então, extremamente atrativa para os proprietários de táxis. A demanda pelo combustível passou a ter um ritmo de crescimento constante, estimulando as distribuidoras a investirem na abertura de novas estações de abastecimento nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo.

O uso do Gás Metano Veicular (GMV), no Brasil, se deu efetivamente, com a liberação para veículos particulares no início de 1996 e a implantação das medidas sugeridas ao Governo.

Em 2006 foi fabricado, por uma empresa italiana, o primeiro veículo com GNV de fábrica. Já em 2007 chegou ao mercado a primeira picape média no Brasil com esse recurso com um motor 2.3l a gasolina, preparado para conversão ao GNV, com manutenção e garantia de fábrica.

2.7 Sistema de injeção eletrônica multiponto de GNV

Desenvolvido pela companhia italiana Zavoli, este equipamento é uma versão bastante interessante e mais acessível do equipamento de última geração de injeção multiponto de GNV para motores 4, 6 e 8 cilindros. Atende todas as normas e exigências nacionais e internacionais, totalmente configurável via software e auto-ajustável.

A seguir são mostrados os componentes do kit 5ª geração Zavoli.

2.7.1 Redutor de Pressão

O redutor de pressão (*Figura 7*) tem a função de reduzir a alta pressão vinda do cilindro reservatório, que entra no redutor com uma pressão de aproximadamente de 220 bar e sai com uma pressão em torno de 4 bar. Este tipo de redutor de injeção direta é bem diferente dos convencionais, possuindo dimensões reduzidas o que facilita a instalação possui sensor de temperatura integrado e atende quase todas as faixas de potências dos veículos.

Figura 7 - Redutor de pressão



Fonte: GasNet.

2.7.2 Eletroinjeter

Os eletroinjeteres (*Figura 8*) funcionam sob as mais severas condições de vibração, interferências eletromagnéticas e suportam temperaturas de -40°C até 135°C. Foram projetados para durabilidade de mais de 100 mil quilômetros.

Figura 8 - Eletroinjeteres



Fonte: GasNet

2.7.3 Unidade de Controle Eletrônico

Esta unidade de controle eletrônico (*Figura 9*) utiliza a lógica de controle idêntica aos sistemas de injeção eletrônica de gasolina. Possui processador Motorola idêntico aos módulos de injeção eletrônica de gasolina ou etanol utilizando a arquitetura AID em sua construção de software. Suas estratégias podem atender todas as normas mundiais de emissões e permite total configuração do mapa de injeção, permitindo a menor perda de potência possível com o combustível gás natural.

Figura 9 - Unidade de Controle Eletrônico da injeção do GNV



Fonte: GasNet

2.7.4 Filtro GNV

O sistema conta com um dispositivo de filtragem de combustível que permite a completa separação de qualquer vestígio de óleo que possa vir a estar presente no combustível de abastecimento, oriundo de compressores em mau estado.

Figura 10 - Filtro GNV



Fonte: GasNet

2.7.5 Chave Comutadora

A chave comutadora (*Figura 11*) apresenta tamanho reduzido, pode ser adaptada nos painéis, possui estratégias para gasolina e gás. Na parte de baixo pode ser visualizado o nível de gás presente no cilindro. Com gerenciamento através da ECU, o sistema comuta automaticamente de gasolina para gás e vice-versa sem perceber qualquer oscilação.

Figura 11 - Chave comutadora



Fonte: GasNet

2.7.6 Cilindro de Testes

Para conclusão da adaptação do sistema GNV foi necessário a instalação do cilindro reservatório de combustível. Devido o sistema trabalhar em alta pressão, em torno de 220 bar, o cilindro utilizado é específico para esta aplicação, portanto é necessário que seja uma peça única, sem emendas, para suportar a alta pressão. Nos casos registrados de acidentes envolvendo veículos GNV o motivo é a utilização de cilindros que não tenham sido projetados para armazenamento de GNV e condições irregulares e inadequadas dos cilindros de abastecimento. Os cilindros comercializados no Brasil são mostrados na *Tabela 1* junto com um comparativo das capacidades entre os reservatórios dos três combustíveis.

Tabela 1 – Cilindros comercializados no Brasil e comparativo da capacidade dos reservatórios de combustível

Capacidade Reservatórios		
Cilindro (m ³)	Gasolina(l)	Etanol(l)
24,5	22	30
21	19	25
17	25	31
15	21	28
2 x 7,5	20	26
7,5	10	13

Fonte: O autor.

O cilindro ideal para a adaptação na motocicleta seria um com capacidade volumétrica de 2 m³, similar ao que é comercializado na Argentina (*Figura 12*), porém como aqui no Brasil não é comercializado um cilindro com esta capacidade foi utilizado um suporte com um cilindro externo de 7,5 m³ para possibilitar a execução dos testes (*Figura 13*).

Figura 12 - Cilindro 2m³ comercializado na Argentina pela empresa Ecopos



Fonte: Ecopos.

Figura 13 - Calibração do motor com cilindro 7,5m³ externo .



Fonte: O autor.

Como melhoria futura propõe-se a importação de um cilindro de 2m³ da Argentina para adaptação na motocicleta para que seja possível executar testes além do dinamômetro de rolo. Com o cilindro de 2 m³ presumi-se que se tenha a capacidade do equivalente a 2,6 l de gasolina e 3,4 l de etanol. O item 3 detalha os testes que foram executados com a motocicleta e a metodologia aplicada nos ensaios.

3 TESTES

Para realização dos testes de desempenho e emissões de poluentes foi adquirido uma motocicleta no leilão do CIRETRAN de São Bernardo do Campo. A motocicleta arrematada trata-se de uma Honda CG Fan 150 ESi, a moto é originalmente bicomcombustível, ou seja, pode ser alimentada com gasolina (E25), etanol (E100) ou em qualquer proporção dos dois combustíveis. O motor é gerenciado por um sistema de injeção programada de combustível PGM-FI e possui características descritas na *Tabela 2*:

Tabela 2 - Características do motor da motocicleta Honda CG Fan 150 ESi – Fonte: Manual Honda

Motor	Disposição dos cilindros		Monocilíndrico inclinado a 15° em relação à vertical
	Diâmetro e curso		57,3 x 57,8 mm
	Cilindrada		149,2 cm³
	Relação de compressão		9,5:1
	Comando de válvulas		OHC acionado por corrente com balancins
	Válvula de admissão	abre	abertura de 1 mm
		fecha	abertura de 1 mm
	Válvula de escape	abre	abertura de 1 mm
		fecha	abertura de 1 mm
	Sistema de lubrificação		Forçada por bomba de óleo e cárter úmido
	Tipo de bomba de óleo		Trocoidal
	Sistema de arrefecimento		Arrefecido a ar
	Filtro de ar		Filtro de papel
Sistema de alimentação de combustível	Peso seco do motor	CG150 Titan KS	26,9 kg
		CG150 Titan ES • ESD	27,9 kg
	Tipo		Sistema PGM-FI (Injeção Programada de Combustível)
	Cavidade da válvula de aceleração		26 mm

3.1 Metodologia

Neste capítulo está descrita a metodologia utilizada durante os testes, como também algumas particularidades e limitações da motocicleta e do sistema GNV. Antes da execução dos testes a motocicleta passou por uma revisão geral na oficina WM motos, onde foi trocado o óleo lubrificante e lubrificada a relação de transmissão, como os sistemas de admissão e ignição estavam em boas condições não foi necessário realizar intervenções nestes sistemas. Com o auxílio da empresa Chiptronic, que forneceu o equipamento de diagnóstico MotoDiag, foi realizado a leitura do código de falha e a limpeza da memória de falhas da unidade de controle eletrônico (UCE) da motocicleta. Após a etapa de revisão a motocicleta foi levada ao laboratório de emissões de motocicletas do Instituto Mauá de Tecnologia. Nos testes foi utilizado o dinamômetro de rolo, para simular as condições de pista e o medidor de emissões de poluentes (Diagnosis 4000 da AVL). Através de um software específico para automatizar a velocidade do dinamômetro foi possível coletar dados de velocidade e torque.

O estudo realizado foi baseado em um teste comparativo, ou seja, definiu-se uma metodologia e esta foi aplicada a todos os tipos de combustíveis para efeito de comparações. A automação do dinamômetro mediu e forneceu dois importantes parâmetros para o estudo que foram a velocidade do veículo e o torque da roda no rolo do dinamômetro, e estes dois parâmetros foram utilizados como referências na análise dos dados. As velocidades definidas foram de 100 km/h a 20 km/h com um intervalo de 20 km/h entre elas e com marchas engrena-

das de 5ª a 2ª marcha respectivamente e em cada condição. Para avaliação do gases foram medidos os níveis de emissões de monóxido de carbono (CO%Vol), Dióxido de carbono (CO₂% Vol), Hidrocarbonetos (HC_ppm_HEX) e Oxigênio (O₂% Vol).

3.2 Descrição do ensaio

Com o tanque abastecido com gasolina comum brasileira tipo C a motocicleta ficou em funcionamento em marcha lenta por dez minutos para que fosse queimado qualquer combustível que por ventura pudesse estar na tubulação de combustível e também para que a motocicleta fizesse seu aprendizado de combustível. Depois de estabilizada a motocicleta foi levada ao dinamômetro de rolo. Para exaustão dos gases emitidos pela motocicleta foi conectado um mangote ao seu tubo de descarga de escape e uma mangueira coletora que direcionou os gases para uma área externa ao laboratório através de um exaustor. Uma parcela dos gases que passavam pela mangueira coletora era direcionada a uma caixa coletora para baixar a temperatura dos gases para por fim serem inseridos no aparelho de medição de emissões. Todo este procedimento é importante tendo em vista que os testes realizados foram em alta velocidade, portanto tiveram uma grande quantidade de gases e em alta temperatura e que podem danificar o equipamento de medição de emissões, existe também outro fator que é a formação de água na saída do escape, que também é considerado bastante prejudicial ao equipamento. As medições só foram realizadas com a motocicleta estabilizada e durante a fase de estabilização os gases de escape eram levados integralmente para a área externa ao laboratório.

Figura 14 - Motocicleta no laboratório.



Fonte: O autor.

Depois de certificado que o combustível que estava sendo utilizado era a gasolina comum brasileira tipo C a motocicleta foi submetida, através da automação do dinamômetro, a uma velocidade fixa de 100 km/h em 5ª marcha com posição do acelerador em 100% de carga, assim foi possível medir o torque da roda no rolo do dinamômetro, ou seja, foi possível medir o torque gerado pela motocicleta. O tempo de estabilização da motocicleta no dinamômetro de rolo para cada condição definido foi de 60 segundos

Após o tempo determinado de aproximadamente 60 segundos que a motocicleta estava no dinamômetro foi conectado a mangueira, que coleta parte dos gases e em baixa temperatura, no equipamento medidor de gases e foi possível coletar manualmente e com o auxílio de uma planilha os níveis de emissões que eram mostrados diretamente no display do equipamento, o tempo para estabilização dos valores no equipamento de emissões era de aproximadamente 30 segundos.

Desta mesma forma os ensaios foram realizados para todas as demais velocidades, com a única diferença que conforme a velocidade diminuía também era reduzida a relação de marchas para que a motocicleta mantivesse a mesma faixa de torque, conforme citado anteriormente.

Visando atingir uma boa confiabilidade nos resultados foi realizada uma bateria de três ensaios para cada tipo de combustível e calculada suas médias. Como citado anteriormente o primeiro ensaio realizado foi com gasolina comum brasileira tipo C e o segundo ensaio com etanol comum brasileiro.

Para realização da segunda série de ensaios com etanol comum brasileiro foi necessário o aprendizado do combustível que durou aproximadamente 30 minutos funcionando em cargas parciais. Para certificar da troca do combustível teve-se o auxílio do código da luz de combustível que já vem integrada na motocicleta, e também a verificação e limpeza da memória de avarias com o aparelho de diagnóstico. A motocicleta fez a aprendizagem do combustível e mais uma série de três ensaios foi realizada aplicando a mesma metodologia citada anteriormente utilizando o combustível etanol comum brasileiro. Estes seis ensaios realizados serviram de *baseline* original do veículo e foi possível estratificar os seguintes gráficos de desempenho, emissão de monóxido de carbono (CO), emissão de dióxido de carbono (CO₂), emissão de oxigênio (O₂) e emissão de hidrocarbonetos (HC) que servirão como base para as comparações e ajudará a entender as conclusões obtidas.

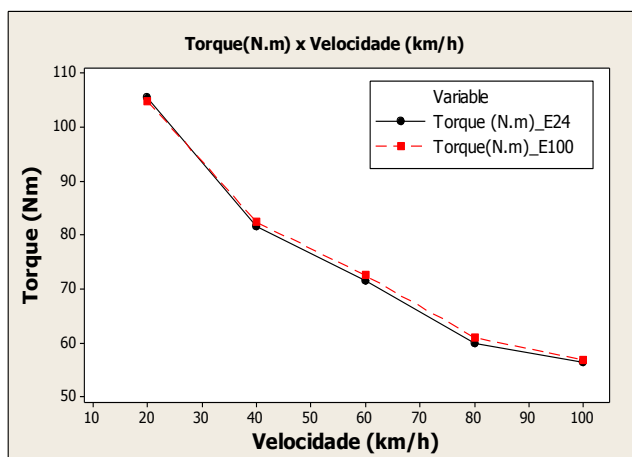
3.3 Baseline

Para realização das comparações o veículo foi testado em suas condições originais e com o levantamento destes dados criou-se um *baseline*, que se tornou uma referência para a calibração da motocicleta quando estiver atuando com o combustível gasoso. Os dados obtidos foram desempenho através do torque, monóxido de carbono (CO% Vol), Dióxido de carbono (CO₂% Vol), Hidrocarbonetos (HC_ppm_HEX) e Oxigênio (O₂% Vol).

3.3.1 Desempenho

O gráfico representado na *Figura 15* apresenta o torque em sua unidade o N.m (Newton metro) obtido no rolo do dinamômetro em relação as velocidade apresentadas em km/h (quilometro por hora) dos combustíveis gasolina comum brasileira tipo C e álcool comum brasileiro.

Figura 15 - Baseline Desempenho.

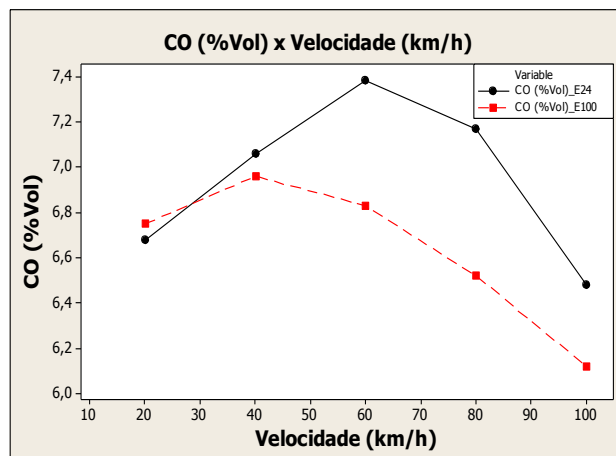


Fonte: O autor.

3.3.2 Emissão de Monóxido de Carbono (CO)

Monóxido de carbono – inodoro e incolor, o CO é extremamente tóxico. Respirá-lo em uma concentração de 0,3% em volume mata em minutos. O gás se combina aos glóbulos vermelhos do sangue, impedindo o transporte de oxigênio. A eficiência dos catalisadores e sistemas de gerenciamento de motores atuais elimina até 99% do CO emitido [MARTINS, 2005];

Figura 16 - Gráfico: Emissão de Monóxido de carbono (CO).

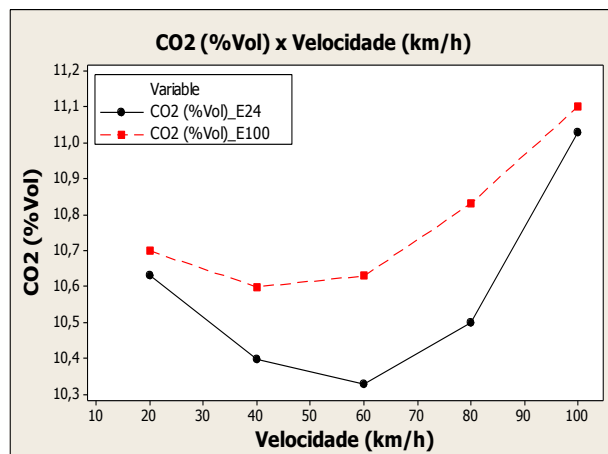


Fonte: O autor

3.3.3 Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂)

Dióxido de carbono (CO₂) – compõe cerca de 18% dos gases eliminados. Apesar de não ser considerado poluente é um dos responsáveis pelo efeito estufa contribuindo de forma significativa para a elevação da temperatura global [HEISLER, 2002];

Figura 17 - Gráfico emissão Dióxido de carbono (CO₂).

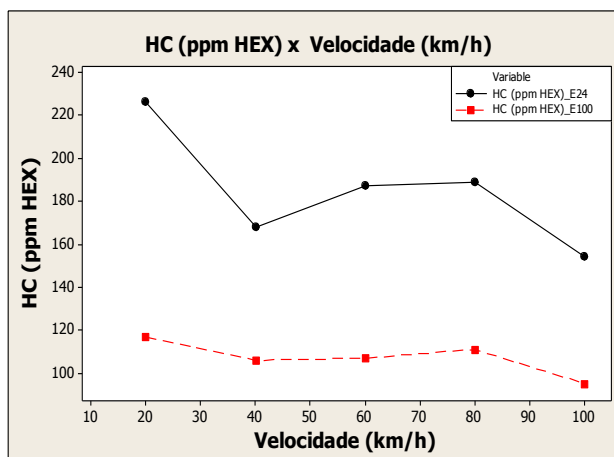


Fonte: O Autor

3.3.4 Emissão Hidrocarbonetos (HC)

Hidrocarbonetos – correspondem ao combustível não queimado, ou queimado parcialmente. Forma fuligem, aquela substância que escurece os tubos de descarga dos carros e é um parâmetro muito interessante nas análises de estequiometria da mistura.

Figura 18 - Gráfico: Emissão de Hidrocarboneto (HC).

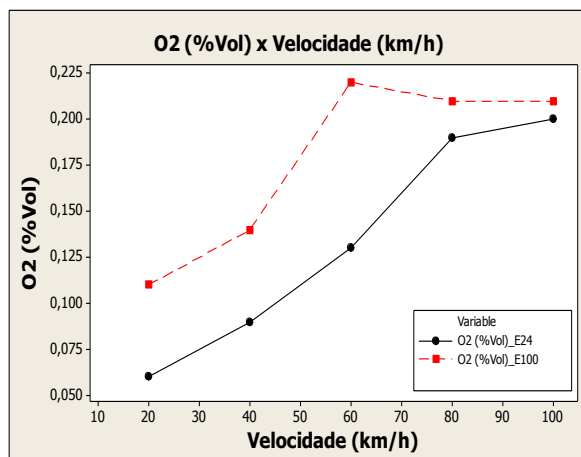


Fonte: O autor.

3.3.5 Emissão Oxigênio (O2)

Oxigênio e gases inertes – cerca de 1% dos gases do escapamento. Corresponde ao oxigênio que não reagiu com o combustível durante a queima e os outros gases que compõem o ar atmosférico em reduzida quantidade, tais como argônio, hélio etc. [PELLIZA, 2003]. Também é importante na interpretação da estequiometria da mistura na análise dos resultados.

Figura 19 - Gráfico: Emissão de Oxigênio (O2).



Fonte: O autor.

3.4 Instalação e calibração do sistema GNV

Na próxima etapa do estudo foi instalado na motocicleta um kit GNV de 5ª geração Zavoli que é um sistema específico para veículos com injeção eletrônica de combustível. O kit é composto basicamente por um cilindro de gás, válvula de abastecimento, redutor, unidade de controle eletrônico (UCE), chave comutadora e tubulações. O gás que sai do cilindro de alta pressão, aproximadamente 220 bar, passa pelo redutor e sai com uma pressão de aproximadamente 4 bar que vai para o eletroinjetor, mas antes passa por um filtro e por um ponto de medição de temperatura do combustível. O eletroinjetor localizado bem próximo à admissão injeta o gás através de uma tubulação instalada na entrada da admissão do motor. O gerenciamento do eletroinjetor é feito através de uma unidade de controle eletrônico do GNV que obtém sinais dos sensores da motocicleta e usa a calibração original motor do veículo para realizar as correções necessárias no tempo de injeção do combustível gasoso. Este módulo eletrônico possui integração com o software (*Figura 21*) fornecido pelo fabricante no qual é possível realizar a leitura dos parâmetros do motor em tempo real como rotação do motor, temperatura do óleo, tempo de injeção de combustível e pressão atmosférica no coletor de admissão e também atuar no mapa de correção do tempo de injeção de combustível gasoso. Na *Figura 20* é mostrado em detalhe o sistema de GNV instalado na motocicleta.

Figura 20 - Sistema GNV 5ª Geração.



Figura 21 - Software Alisei de interface com sistema GNV.



Fonte: O autor.

3.5 Primeiro Teste com GNV

Com o sistema de GNV instalado e configurado de acordo com motor utilizado a mesma sequência de testes foi realizada fornecendo uma base de dados para análises comparativas dos resultados. Durante a instalação e calibração do motor notou-se algumas limitações do Kit GNV 5ª Geração.

3.6 Limitações do Kit GNV 5ª Geração

De fato tiveram-se algumas restrições que influenciaram significativamente nos resultados. A principal restrição técnica foi no módulo de controle eletrônico do GNV que limitava eletronicamente a rotação máxima do equipamento em 7500 rotações por minuto (rpm), sendo que conforme descrição do manual técnico da motocicleta o motor atinge sua potência máxima na rotação de 8500 rpm, portanto, nas condições de potência máxima o módulo eletrônico do GNV limita a rotação do motor desligando o eletroinjeter, e este parâmetro não pode ser alterado já que é uma característica do equipamento GNV, e já vem configurado previamente pelo fabricante do módulo.

Outra limitação notada durante a calibração foi que o eletroinjeter estava superdimensionado para a aplicação. O kit GNV 5ª geração utilizado é de um carro 2.0 l com quatro

cilindros, portanto tem-se que cada eletroinjeter é responsável por um cilindro de 500 cm³, e o motor utilizado tem a capacidade volumétrica de apenas 150 cm³, ou seja, o eletroinjeter possui vazão três vezes maior que o necessário.

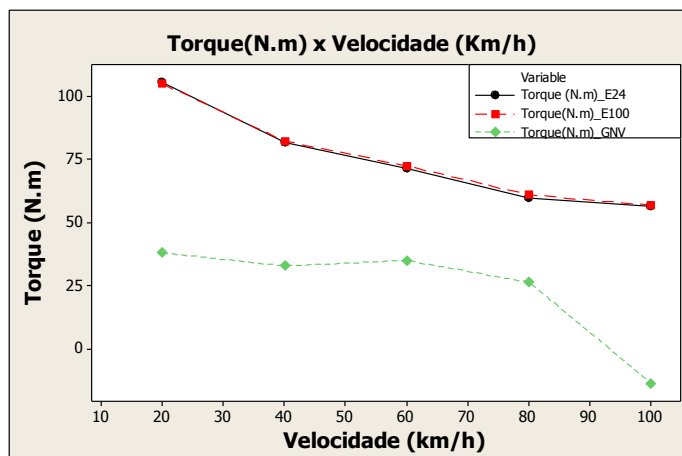
3.7 Análise dos resultados do 1º teste com GNV

Com base nos dados levantados e analisados foi possível plotar as curvas comparativas entre combustíveis, mostrado nos próximos tópicos.

3.7.1 Gráfico Desempenho

Foi possível observar na *Figura 22* uma perda de desempenho com o combustível GNV, esta perda ocorreu devido às limitações que foram detalhadas anteriormente. É perceptível o acontecimento do fenômeno da limitação da rotação na velocidade de 100 km/h onde foi observado um torque negativo medido pelo dinamômetro de rolo. Para comprovar foi desligado o controle de rotação do dinamômetro, ou seja, ele rodou livre, e condicionada a motocicleta na condição de plena potência utilizando GNV, a fim de verificar sua velocidade máxima, foi constatado a velocidade máxima de 90 km/h, portanto isso explica por que o torque na condição de 100 km/h marca valor negativo, pois neste momento quem esta sendo a roda motora é o dinamômetro que através de seu controle eletrônico mantém o sistema em velocidade constante de 100km/h.

Figura 22 - Desempenho E24, E100 e GNV.



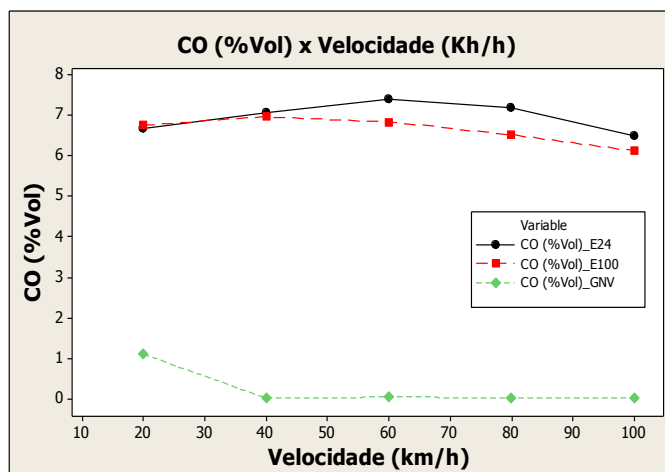
Fonte: O autor.

Outro fator que interferiu nos resultados foi a calibração do motor ter sido realizada com o veículo parado e sem carga, portanto verificou-se a necessidade de se realizar uma calibração no módulo eletrônico do GNV com o veículo funcionando em plena carga. Outros dados que puderam ser coletados e analisados foram os índices dos gases de emissão de escapeamento que serão descritos a seguir:

3.7.2 Gráfico de Emissão Monóxido de carbono (CO)

Na *Figura 23* pode se observar uma grande redução nos níveis de emissões de monóxido de carbono (CO), levando o índice cair praticamente para emissão zero.

Figura 23 - Emissão de Monóxido de carbono (CO).



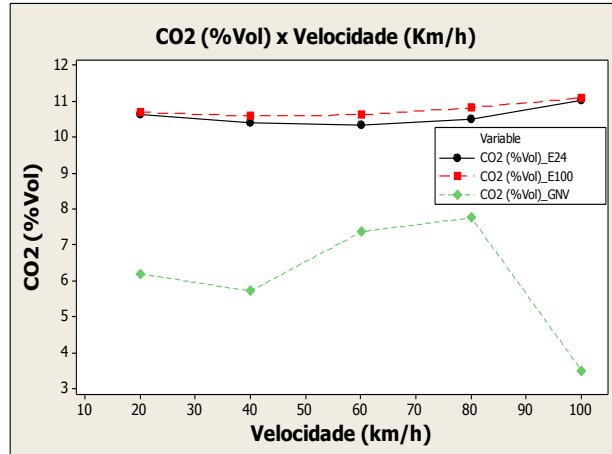
Fonte: O autor.

3.7.3 Gráfico de Emissão Dióxido de carbono (CO₂)

Na *Figura 24* pode ser observado que houve uma redução do nível de dióxido de carbono, porém este índice relacionado com os próximos índices é possível verificar que o veículo não estava apresentando uma mistura estequiométrica e sim uma mistura pobre, pois um dos resultados de uma combustão estequiométrica é o CO_2 , e a redução neste índice indica que não estava sendo realizada uma combustão completa dentro do cilindro. Um fator que pode ter interferido significativamente para este resultado é a falta de um dispositivo que adiante o ponto de ignição do motor, pois como se é conhecido os gases possuem um tempo de queima mais lento do que a gasolina e o etanol, portanto seria recomendável incluir um dispo-

sitivo que faça esta função no sistema, e inicie a combustão alguns graus antes do ponto de ignição original do veículo.

Figura 24 - Gráfico de Emissões Dióxido de carbono (CO₂).

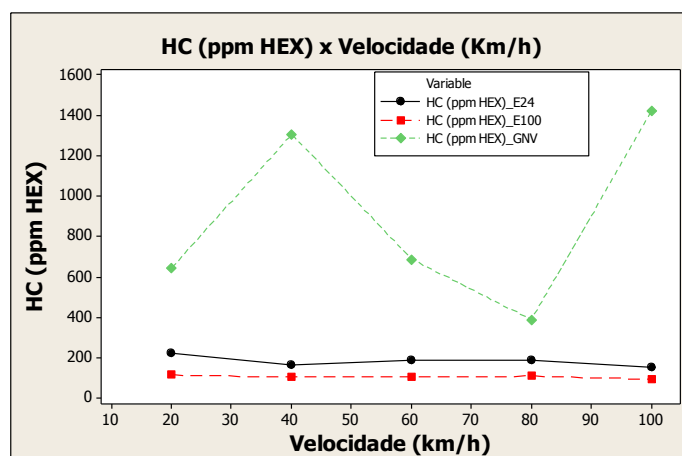


Fonte: O autor.

3.7.4 Gráfico de Emissão de Hidrocarbonetos (HC)

Na *Figura 25* e na *Figura 26* fica mais evidente que houve uma má combustão dentro do cilindro, pois existe grande quantidade de hidrocarbonetos, que nada mais é do que combustível não queimado no gás de escape, e oxigênio que não reagiu com o combustível durante a queima.

Figura 25 - Gráfico: Emissão de Hidrocarboneto (HC).

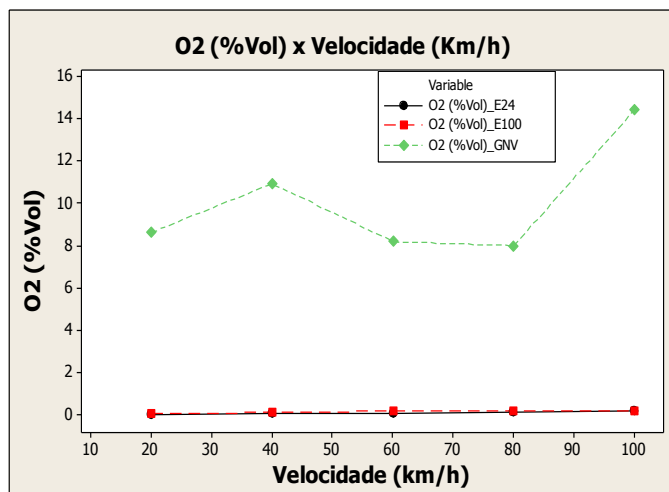


Fonte: O autor.

3.7.5 Gráfico: Emissão de Oxigênio (O2)

Como era esperado existindo combustível sem queimar também é encontrado oxigênio intacto na saída de gás de escapeamento.

Figura 26 - Gráfico: Emissão de Oxigênio (O2).



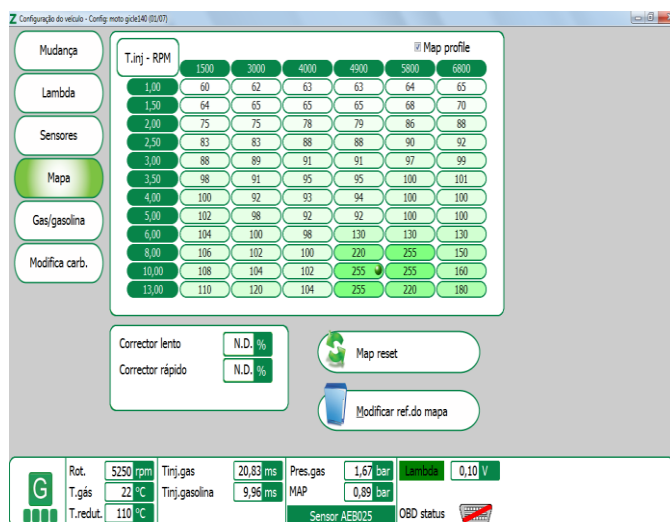
Fonte: O autor.

Nesta primeira etapa do teste foi importante a análise dos dados para obter parâmetros iniciais que indicaram o caminho para implementar as melhorias necessárias para corrigir os problemas de estequiometria e de limitação técnica do equipamento, para que se consiga atingir ao menos uma boa dirigibilidade para a motocicleta.

3.8 Segundo teste com GNV e nova calibração

Buscando encontrar alternativas para eliminar ou minimizar os efeitos das limitações técnicas encontradas, foram buscadas soluções que pudessem ser empregadas visando à melhoria da dirigibilidade da motocicleta e realizar a correção da estequiometria da mistura, mais uma vez a moto foi colocada no dinamômetro e realizada a calibração do motor do veículo em carga, feita a correção no mapa de injeção com o auxílio do equipamento de diagnóstico e do software do módulo GNV, como é mostrado na *Figura 27*.

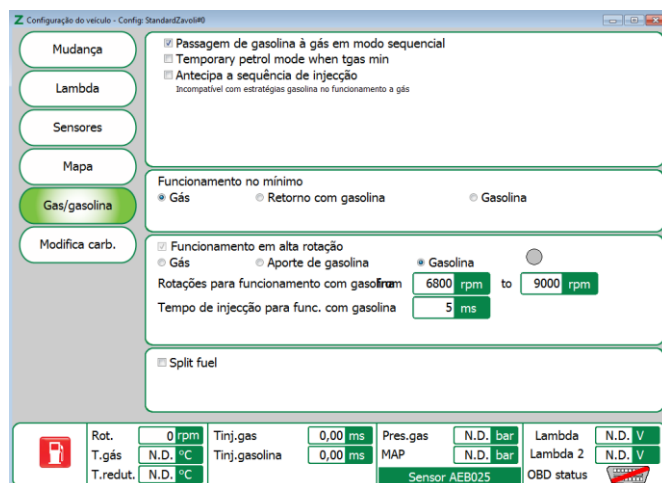
Figura 27 - Mapa de calibração do módulo GNV.



Fonte: O autor

Uma das soluções encontradas para melhorar a dirigibilidade do veículo foi realizar a troca do combustível gasoso pelo combustível líquido nas rotações acima de 6800 rpm, assim em condições que o condutor necessitar de potência para realizar alguma manobra a motocicleta irá apresentar uma boa e rápida resposta.

Figura 28 - Tela de configuração rotação AliseiN.



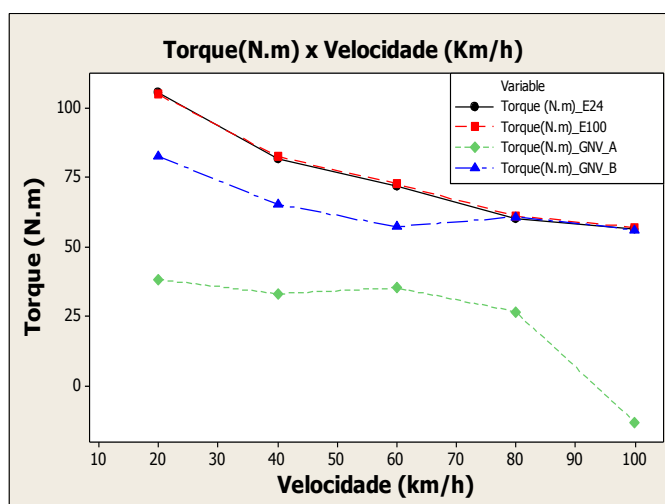
Fonte: O autor.

Com a motocicleta calibrada e os parâmetros configurados foi realizada uma nova série de testes. Os resultados obtidos serão comentados no próximo tópico.

3.8.1 Gráfico: Desempenho

A *Figura 29* apresenta um comparativo entre o torque da motocicleta no dinamômetro em relação com as velocidades estipuladas, as duas primeiras linhas acima na cor preta e vermelha representam o desempenho do veículo funcionando com os combustíveis gasolina e álcool, respectivamente, com o sistema de injeção original da motocicleta. A linha verde representa o primeiro teste realizado com o combustível GNV quando a calibração ainda necessitava de ajustes e havia limitações na rotação máxima do veículo e a linha azul representa o segundo teste realizado com o combustível GNV, desta vez já com as alterações na calibração do módulo eletrônico GNV e ajustes nos parâmetro de corte de rotação.

Figura 29 - Gráfico de Desempenho.



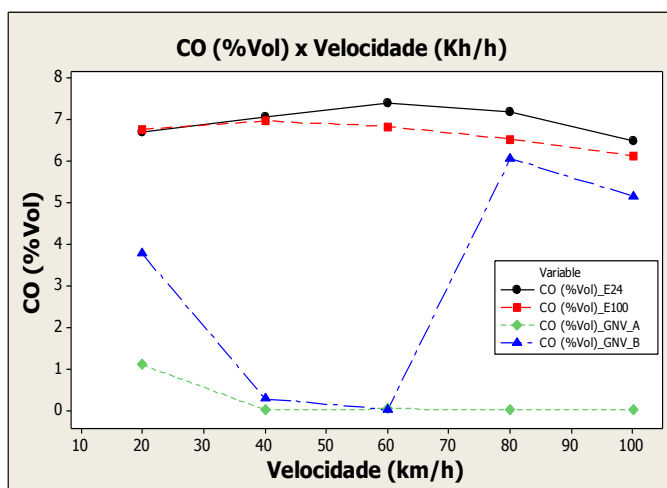
Fonte: O autor.

É possível ver claramente na *Figura 29* nas velocidades de 80 km/h e 100 km/h o momento em que a motocicleta comutou do combustível gasoso para o combustível líquido, que neste caso era o álcool, a motocicleta apresentou desempenho de acordo com os medidos anteriormente. Na faixa de velocidade de 20 km/h a 60 km/h foi possível verificar melhora no rendimento do motor, que se aproximou ao desempenho dos combustíveis líquidos. Houve uma perda de apenas 21% muito superior ao primeiro teste que teve uma perda de 59%. O torque médio para os combustíveis gasolina e álcool ficou em 86,44Nm e no GNV ficou em 68,32Nm. A seguir nas análises dos gráficos de emissões é possível verificar os motivos de tais melhorias no desempenho.

3.8.2 Gráfico: Emissão de Monóxido de carbono (CO)

A linha azul do gráfico da *Figura 30* representa a redução no nível de emissão de monóxido de carbono. Também na faixa de velocidade de 20 km/h a 60 km/h, que era o momento em que o módulo eletrônico estava trabalhando apenas com o combustível GNV, os índices de monóxidos de carbono se mantiveram reduzidos. Nas velocidades de 80 km/h a 100 km/h os índices voltaram a patamares em que se encontram os combustíveis líquidos. Ainda assim o valor médio de emissão de CO com o GNV ficaram abaixo do que no combustível líquido, na qual o GNV ficou com uma média de emissão de CO de 3,06(% Vol) enquanto a média de emissão de CO dos combustíveis líquidos foi de 6,79(% Vol), isto representa uma redução de 54% no nível médio de emissões de monóxido de carbono.

Figura 30 - Emissão de Monóxido de carbono (CO).

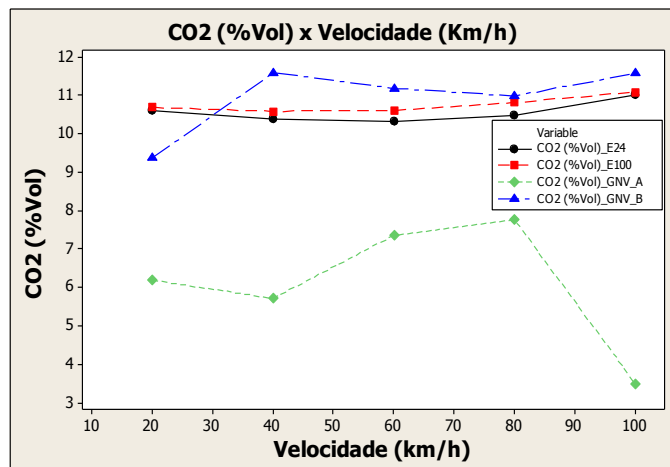


Fonte: O autor.

3.8.3 Gráfico: Emissão de Dióxido de carbono (CO₂)

O gráfico de dióxido de carbono comprova que quando se tem uma mistura de admissão estequiométrica é possível obter melhora no desempenho, e isto é mostrado na *Figura 31*, pois como resultado de combustão completa é gerado CO₂. Como são mostrados os índices do GNV trabalharem na mesma faixa que os combustíveis líquidos.

Figura 31 - Emissão de Dióxido de carbono (CO₂).

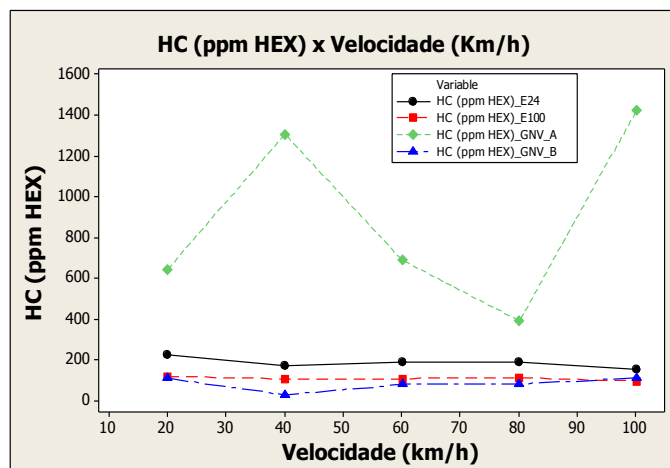


Fonte: O autor.

3.8.4 Gráfico: Emissão de Hidrocarboneto (HC)

Nas *Figura 32* e *Figura 33* é confirmada a estequiometria da mistura vindo que o índice de HC foi reduzido e ainda se manteve menor que o dos combustíveis líquidos, mostrando assim que o GNV leva vantagem aos demais combustíveis em questão.

Figura 32 - Emissão de Hidrocarboneto (HC).

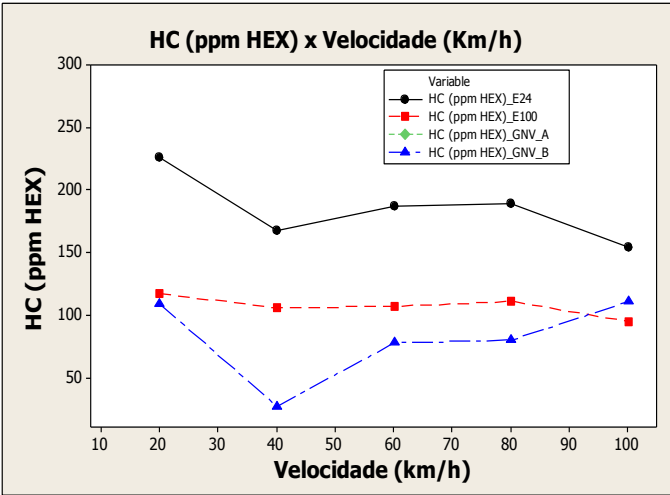


Fonte: O autor.

Se comparado com a gasolina, por exemplo, calculando-se a média dos valores nos índices de HC da gasolina temos um valor de 185ppm_HEX quanto para o GNV o valor de

81ppm_HEX, uma redução de 44% na emissão de HC lançado na atmosfera, a seguir é mostrado o detalhe a emissão de HC comparado entre a gasolina e o GNV.

Figura 33 - Detalhe Emissão de Hidrocarboneto (HC).

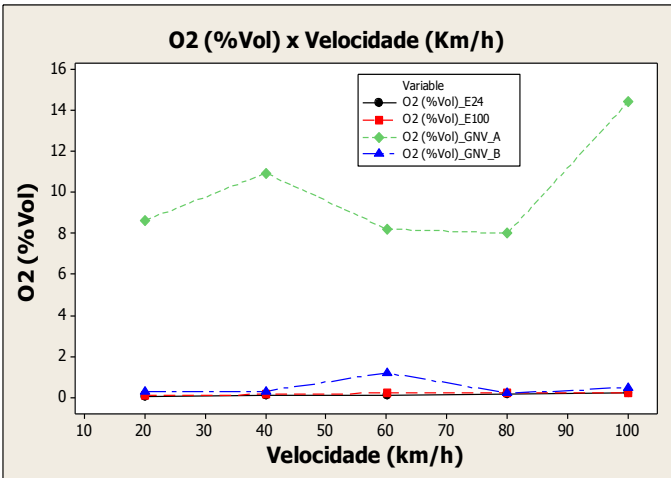


Fonte: O autor.

3.8.5 Gráfico: Emissão de Oxigênio (O2)

Conforme é constatada pela *Figura 34*, a redução no índice de O2 indica que não houve sobra de oxigênio, quando ocorre a combustão no interior do cilindro as moléculas de oxigênio oxidam os hidrocarbonetos e pode ser visto que não houve sobra nem de oxigênio e nem hidrocarboneto, portanto houve uma combustão estequiométrica no interior do cilindro.

Figura 34 - Emissão de Oxigênio (O2).



Fonte: O autor

4 CONCLUSÃO

A utilização de combustíveis gasosos no Brasil ainda é pouco difundida, nas grandes cidades ainda se tem poucos veículos que utilizam deste combustível, a maior concentração de veículos está situada nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Para tornar comum o uso do GNV é necessário um investimento em postos de abastecimento, hoje em São Paulo existe cerca de quatro mil postos de abastecimentos autorizados a fornecer gás natural veicular.

Conforme o objetivo proposto foi possível constatar as vantagens em utilizar o GNV e demonstrar que a aplicação em motocicletas é possível e viável tanto na questão ambiental como financeiramente. Utilizando o cilindro de 1,8m³, instalado na motocicleta, estima-se um custo de R\$ 2,40 para abastecê-lo completamente e calcula-se uma autonomia de 80 km. Comparado à gasolina, com mesmo custo de R\$ 2,40 obtém-se um litro de gasolina, que proporciona uma autonomia de aproximadamente 40 km. Portanto com o uso do GNV a autonomia do veículo é superior com o mesmo custo para o usuário, desta forma o uso do GNV se mostra viável economicamente.

Como se pode observar nos gráficos os resultados positivos foram em relação à redução nos índices de monóxidos de carbono (CO) que nos combustíveis líquidos atingiram índices superiores a 6% Vol enquanto no GNV os resultados ficaram pouco mais de 3% Vol, isto mostra uma redução de 54% no nível médio de CO, a redução no índice de hidrocarbonetos (HC) é um importante resultado, pois se tem um maior aproveitamento do combustível injetado no interior do cilindro. Outro resultado considerado positivo é a boa dirigibilidade e desempenho satisfatório na condução da motocicleta. É possível a obter melhoria do sistema de GNV e deixar a motocicleta com o torque ainda mais próximo do original realizando ajustes no mapa de injeção de combustível e incluindo um sistema que controle do ponto de ignição. A próxima etapa do estudo, que é o controle do ponto de ignição, ainda esta em desenvolvimento e após a implantação do sistema muitos outros resultados serão levantados para a finalização deste estudo. Com o desenvolvimento deste trabalho espera-se contribuir para os estudos e pesquisas acadêmicas nas áreas de combustíveis alternativos, motores de combustão interna, aplicações do GNV, entre outras áreas que podem se beneficiar deste estudo e ainda desenvolver conhecimento e aspectos profissionais nos envolvidos com o projeto.

5 REFERÊNCIAS

ABRACICLO – Associação brasileira dos fabricantes de motocicletas, ciclomotores, motonetas, bicicletas e similares; Anuário 2012; disponível em <http://www.abraciclo.com.br/>

BARBOSA, Cleiton Rubens Formiga; *Desempenho de um motor ciclo Otto com injeção direta de gás*; Tese de Doutorado da Universidade de São Paulo; São Paulo; 1997

BOSCH, Robert; *Manual de Tecnologia Automotiva*; Tradução da 25ª edição alemã; 2005.

CAVALCANTI, Marcelo Castello Branco; *Ascensão do gás natural no mercado de combustíveis automotivos no Brasil*; 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2004.

CETESB; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental; Acessado em 10 de janeiro de 2013; Conteúdo disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>

DENATRAN - Departamento Nacional de Transito; Acesso em 06 de março de 2013, Conteúdo disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>

GASNET; Acessado em 12 de janeiro de 2013; Conteúdo disponível em: http://www.gasnet.com.br/novo_postos_gnv.asp.

IBAMA; Acessado em 03 de fevereiro de 2013; Conteúdo disponível em <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve> ;

MELO, Aline Fernanda Amaral; SILVA, Sâmmya Nayara de Araújo; *Emissões em Sistemas Tetra Combustíveis*; Monografia de graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; SP; 2011.

MILHOR, Carlos Eduardo; *Sistema de Desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto*; Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; São Carlos; SP; 2002.

MMA – Ministério do meio ambiente; Acessado em 04 de fevereiro de 2013; disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/promot_163.pdf

PUJATTI, Fabrício José Pacheco; *Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha*; Dissertação de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais; Belo Horizonte; MG; 2007.