

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS EMISSÕES DE CO E HC PRODUZIDAS POR
GASES DA EXAUSTÃO VEICULAR ORIUNDOS DE GASOLINA, GNV E
MISTURA ÁLCOOL/GASOLINA

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
Como parte dos requisitos para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

CÉLITON DE SOUZA FERNANDES

Orientadores

FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA FONTES

CLEITON RUBENS FORMIGA BARBOSA

Natal-RN, Julho de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS EMISSÕES DE CO E HC PRODUZIDAS POR
GASES DA EXAUSTÃO VEICULARES ORIUNDOS DE GASOLINA, GNV E
MISTURA ÁLCOOL/GASOLINA**

CÉLITON DE SOUZA FERNANDES

**Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA
Sendo aprovada em sua forma final**

Prof. Francisco de Assis Oliveira Fontes, D. Sc. – Orientador

Prof. Cleiton Rubens Formiga Barbosa, D. Sc. – Co-orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcelo Bezerra Grilo, D. Sc.

Prof. Hugo Lima Moreira, D. Sc.

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Fernandes, Céilton de Souza.

Análise estatística das emissões de CO e HC produzidas por gases da exaustão veicular oriundos de gasolina, GNV e mistura álcool/gasolina / Céilton de Souza Fernandes. – Natal, RN, 2009.

107 f.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira Fontes.

Co-orientador: Cleiton Rubens Formiga Barbosa

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Análise estatística – Emissão de gases – Dissertação. 2. Monóxido de carbono – Dissertação. 3. Hidrocarbonetos – Dissertação. 4. Gás natural veicular – Dissertação. 5. Gasolina – Dissertação. 6. Álcool – Dissertação. I. Fontes, Francisco de Assis Oliveira. II. Barbosa, Cleiton Rubens Formiga. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 519.23:622.324(043.3)

“A estatística é interessante e útil porque fornece estratégia e instrumentos para utilizar dados com o objetivo de obtermos uma percepção de problemas reais. Na medida em que a continuada revolução na computação automatiza a maioria dos detalhes maçantes, a ênfase em conceitos estatísticos se torna mais importante para os usuários que devem suprir o que não é automatizado.”

(MOORE, David S, Introduction of the Practice of Statistics)

Dedico este trabalho a Maria Rozângela de Souza Fernandes, minha mãe, que sempre me incentivou a estudar, a qual juntamente com meu pai investiu na minha formação e que, portanto é a principal responsável pelas minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Dr. Francisco Fontes e Dr. Cleiton Rubens por serem os orientadores deste trabalho e que cunharam as idéias basilares e nortearam a constituição do mesmo;

Aos inspetores do Instituto de Pesquisa, Engenharia e Transporte Ltda (INSPETRANS), em especial aos amigos Aba-Elber e Daniel por terem efetuado a maioria dos testes;

Aos Eng. Mecânicos Jailson Costa e Eduardo Henrique, responsáveis técnicos do INSPETRANS, que muito contribuíram na formulação do trabalho;

Ao companheiro Sr. Edson Cesar Cavalcanti, Titular do INSPETRANS, que muito incentivou e apoiou a realização dessa pesquisa;

Ao mestrando Márcio Barbalho que me apresentou as primeiras ferramentas do software Statistica;

Ao PPGEM por me proporcionar mais um grau de formação e ascender na minha qualificação profissional;

Ao amigo Msc. Fábio Fagundes que me auxiliou nos primórdios dessa investida acadêmica;

Ao professor Dr. João Telésforo por ter sido meu orientador no início da pós-graduação;

A Tassiana, minha noiva, que me auxiliou bastante na digitação dos resultados dos testes, bem como soube me incentivar nas horas de desânimo;

Aos meus pais, em especial a minha mãe que sempre incentivou e cobrou o término deste trabalho;

Ao professor Dr. Luciano Bet que prontamente me atendeu e se comprometeu em me orientar quando optei em mudar de orientação (In memoriam);

Aos amigos de trabalho da Usina Termelétrica UTE-JSP, em especial ao Francimário, Misael e Luciano que me incitaram e também contribuíram com este trabalho;

A Deus principalmente, por ter me dado o dom da vida e poder usufruí-la em sua plenitude.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho e que por olvido não foram citados.

RESUMO

Os veículos automotores são as principais fontes móveis de Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarbonetos não queimados (HC) lançados na atmosfera. Nos últimos anos o acréscimo da frota de veículos no município de Natal-RN vem contribuindo para o aumento das emissões desses gases poluentes. O estudo consistiu de uma análise estatística das emissões de CO e HC de uma amostra composta por 384 veículos com motorização a Gasolina/GNV ou Álcool/Gasolina/GNV do município de Natal-RN. Os testes foram realizados em veículos submetidos à Inspeção de Segurança Veicular, nas instalações do INSPETRANS, Organismo de Inspeção Veicular. Um analisador de gases parcial permitiu medir, para cada veículo, os níveis de CO e HC em duas condições de rotação do motor (900 e 2500 rpm). A análise estatística realizada por meio do software STATISTICA revelou uma sensível redução na eficiência dos conversores catalíticos após 6 anos de uso com a emissão média de 0,78 % de CO e 156 (ppm) de HC, o que representa aproximadamente 4 (quatro) vezes a quantidade de CO e o dobro de HC em comparação com os veículos mais novos. O resultado de um Teste-T de Student sugere fortemente que a média das emissões de HC (152 ppm), a 900 rpm, é 40% maior que a 2500 rpm, para o motor sem carga. Esse resultado revela que a eficiência da conversão catalítica é limitada cineticamente em baixas rotações. O Estudo conclui também que ao comparar as emissões de CO e HC, considerando a influência dos combustíveis, verificou-se que embora as emissões de CO a partir do GNV sejam 62% menores do que a partir da gasolina, não há diferenças significativa entre as emissões de HC oriundas do GNV e da gasolina. Em síntese, os resultados colocam os atuais critérios de inspeção veicular, para gases da exaustão, em dúvida, conduzindo a criação de limites de emissão de poluentes mais rigorosos, visto que a eficiência dos conversores catalíticos é sensivelmente reduzida a partir de 6 anos de uso. Suscita-se também a possibilidade de modificações nas condições de teste adotadas pelas normas atuais, especificamente na rotação do motor, haja vista que na condição sem carga os maiores índices de emissão foram registrados em marcha lenta. De ante disso, sugere-se a dispensa dos testes em altas rotações, reduzindo à metade o tempo de inspeção e gerando economia de combustível.

Palavras-chave: Análise Estatística. Emissões. Monóxido de Carbono. Hidrocarbonetos. Gás Natural Veicular. Gasolina. Álcool.

ABSTRACT

The vehicles are the main mobile sources of carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbons (HC) released into the atmosphere. In the last years the increment of the fleet of vehicles in the municipal district of Natal-RN it is contributing to the increase of the emissions of those pollutants. The study consisted of a statistical analysis of the emissions of CO and HC of a composed sample for 384 vehicles with mechanization Gasoline/CNG or Alcohol/Gasoline/CNG of the municipal district of Natal-RN. The tests were accomplished in vehicles submitted to Vehicular Safety's Inspection, in the facilities of INSPETRANS, Organism of Vehicular Inspection. An partial gases analyzer allowed to measure, for each vehicle, the levels of CO and HC in two conditions of rotation of the motor (900 and 2500 rpm). The statistical analysis accomplished through the STATISTICA software revealed a sensitive reduction in the efficiency of the converters catalytic after 6 years of use with emission average it is of 0,78% of CO and 156 (ppm) of HC, Which represents approximately 4 (four) times the amount of CO and the double of HC in comparison with the newest vehicles. The result of a Student's t-test, suggests strongly that the average of the emissions of HC (152 ppm), at 900 rpm, is 40% larger than at 2500 rpm, for the motor without load. This result reveals that the efficiency of the catalytic conversion is limited kinetically in low engine speeds. The Study also ends that when comparing the emissions of CO and HC considering the influence of the fuels, it was verified that although the emissions of CO starting from CNG are 62% smaller than arising from the gasoline, there are not significant differences among the emissions of HC originating from of CNG and of the gasoline. In synthesis, the results place the current criteria of vehicular inspection, for exhaust gases, in doubt, leading the creation of emission limits of pollutant more rigorous, because the efficiency of the converters catalytic is sensibly reduced starting from 6 years of use. It is also raised the possibility of modifications in the test conditions adopted by the current norms, specifically in the speed engine, have seen that in the condition without load the largest emission indexes were registered in slow march. That fact that allows to suggest the dismissal of the tests in high speed engine, reducing the time of inspection in half and generating economy of fuel.

Keywords: Statistical Analysis. Emissions. Carbon Monoxide. Hydrocarbons. Compressed Natural Gas. Gasoline. Alcohol.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Forno de fundição na Suíça em 1556.....	18
Figura 2: Gravado em 1876, no Oeste da Alemanha, mostra uma fundição de metal	19
Figura 3: Variação típica da concentração de monóxido de carbono no centro de uma cidade dos Estados Unidos.....	23
Figura 4: Emissões vulcânicas.....	23
Figura 5: Tempos do motor ciclo Otto	25
Figura 6: Principais componentes do MCI.....	26
Figura 7: Combustíveis e os principais poluentes	28
Figura 8: Comparação entre as emissões de CO originadas por veículos movidos a álcool e a gasolina.....	31
Figura 9: Evolução dos kit's de conversão para GNV	34
Figura 10: Componentes de kit's GNV de 1ª e 2ª Geração	35
Figura 11: Sistema de gerenciamento convencional (JOSEPH, 2003)	36
Figura 12: Sistema de gerenciamento Totalflex (JOSEPH, 2003)	36
Figura 13: Esquema simplificado da estratégia da sonda lambda.....	37
Figura 14: Carburador (FiatTech, 1996).....	39
Figura 15: Central eletrônica (FIAT automóveis, 1996).....	41
Figura 16: Sensores e atuadores do sistema de injeção e ignição eletrônica.....	41
Figura 17: “Flauta” com 4 eletro-injetores de um sistema de injeção eletrônica multiponto ..	42
Figura 18: Gráfico do sinal de voltagem da sonda lambda	44
Figura 19: Componentes do sistema anti-evaporativo	45
Figura 20: Conversor catalítico de duas vias em aço inoxidável	46
Figura 21: Gráfico da eficiência do conversor catalítico.....	47
Figura 22: Processo de conversão com três vias	48
Figura 23: Eficiência de conversão para os catalisadores de três vias	49
Figura 24: Conversão de HC para o TWC-M em função da velocidade espacial.....	49
Figura 25: Emissões regulamentadas para o motor a 2500 rpm (em cima para pré TWC e em baixo para pós TWC).....	50
Figura 26: Comparação das emissões de metanol para o motor sob diferentes cargas	51
Figura 27: Comparação das emissões de formaldeído para o motor sob diferentes cargas	51
Figura 28: Emissões não regulamentadas antes e depois do TWC	52
Figura 29: Média das emissões de THC (medidas após catalisador) até 35.000 km em um circuito CADC.....	55
Figura 30: Emissão relativa de THC (medidas após catalisador) até 35.000 km em um circuito EUDC	56
Figura 31: Emissões de CO, NO _x , THC e NMHC para um circuito CADC completo para gasolina (esquerda) e GNC (direita) após 2.500 km e 35.000 km.....	56
Figura 32: Válvula EGR (<i>Exhaust Gas Recirculation</i>)	57
Figura 33: Acionamento da válvula EGR	59
Figura 34: Acionamento da EGR em conjunto com a borboleta de aceleração	59
Figura 35: Recirculação de gases da exaustão x Emissão de NO _x	60
Figura 36: Recirculação de gases da exaustão x emissão de HC/CO.....	61
Figura 37: A forma desse histograma caracteriza a distribuição do tipo <i>Gama</i> para emissões de NO.....	67
Figura 38: Histograma das emissões de CO	68
Figura 39: Histograma das emissões de CO ₂	69
Figura 40: Histograma das emissões de HC.....	70
Figura 41: Gráfico de probabilidade normal para emissões de CO.....	71
Figura 42: Gráfico de probabilidade normal para emissões de CO ₂	72

Figura 43: Gráfico de probabilidade normal para emissões de HC.....	73
Figura 44: Exemplo de distribuição assimétrica à direita.....	75
Figura 45: Gráfico de caixa para emissões de CO.....	77
Figura 46: Gráfico de caixa para emissões de CO ₂	78
Figura 47: Gráfico de caixa para emissões de HC.....	79
Figura 48: Esquema simplificado do princípio de funcionamento do analisador infravermelho	82
Figura 49: Analisador de gases CGS-5500PC.....	83
Figura 50: Sensores utilizados na execução dos testes.....	84
Figura 51: Relatório de inspeção emitido pelo analisador de gases.....	85
Figura 52: Distribuição dos dados em categorias de interesse no STATISTICA.....	86
Figura 53: Variáveis de interesse coletadas em cada veículo testado.....	87
Figura 54: Diagrama de dispersão (CO ₂ x CO).....	91
Figura 55: Diagrama de dispersão (CO ₂ x HC).....	93
Figura 56: Média de CO em função da idade dos veículos.....	94
Figura 57: Média de HC em função da idade dos veículos.....	95
Figura 58: Gráfico de média e margem de erro para HC sob dois níveis de rotação.....	96
Figura 59: Gráfico de média e margem de erro para CO sob dois níveis de rotação.....	97
Figura 60: Gráfico de média e margem de erro para CO a partir de 3 Combustíveis.....	98
Figura 61: Gráfico de média e margem de erro para HC a partir de 3 combustíveis.....	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Venda anual de veículos nos USA.....	20
Tabela 2: Principais poluentes emitidos por fontes móveis.....	24
Tabela 3: Frota mundial de veículos movidos a GNV.....	32
Tabela 4: Limites máximos de emissão de poluentes para veículos leves de passageiros.....	62
Tabela 5: Limites para Monóxido de Carbono.....	63
Tabela 6: Limites para Hidrocarbonetos.....	63
Tabela 7: Resumo do padrão de distribuição.....	73
Tabela 8: Especificações técnicas do analisador de gases CGS-5500PC.....	83
Tabela 9: Classificação das variáveis.....	87
Tabela 10: Valores típicos das emissões dos gases da exaustão (pós-catalisador).....	89

LISTA DE TERMOS E SIGLAS

ANOVA – Análise de Variância

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ARTEMIS – *Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*, ou Avaliação e Confiabilidade de modelos de emissões dos Transportes e Sistemas de Inventário.

CADC – *Common Artemis Driving Cycle*, ou Circuito de Condução Comum Artemis

CETESB – Companhia Estadual de Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas – Estado de São Paulo

CFC – Clorofluorcarbono

CH₄ – Metano

CNG – *Compressed Natural Gas*, ou Gás Natural Comprimido

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono, ou Gás Carbônico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito

DME – Dimetil Éter

EGR – *Exhaust Gas Recirculation*, ou Recirculação dos Gases da Exaustão

EPA – *Environmental Protection Agency*, ou Agência de Proteção Ambiental

EUDC - *Extra Urban Driving Cycle*, ou Circuito de Condução Extra urbano

GMV – Gás Metano Veicular

GNV – Gás Natural Veicular. Expressão em uso corrente no Brasil para se referir a Gás Natural Comprimido.

HC – Hidrocarbonetos não queimados

I/M – Programa de Inspeção e Manutenção

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INSPETRANS – Instituto de Pesquisa, Engenharia e Transporte Ltda (Organismo de Inspeção)

MCI – Motor de Combustão Interna

NDIR – *Non Dispersive Infra-red*, ou Infravermelha Não Dispersiva

NMHC – *Non Methane Hydrocarbons*, ou Hidrocarbonetos não Metano

NO – Óxido Nítrico

NO₂ – Dióxido de Nitrogênio

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

Outlier - Um valor individual que se afasta sensivelmente do padrão global

PEG – Polietileno Glicol

PMI – Ponto Morto Inferior

PMS – Ponto Morto Superior

PROCONVE – Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores

SEIV – Serviço Especializado em Inspeção Veicular (Organismo de Inspeção)

SFS – *Software Fuel Sensor*, ou programa do sensor de combustível

SI – *Spark Ignition*, ou Ignição a Centelha

THC – *Total Hydrocarbons*, ou Total de Hidrocarbonetos não queimados

TWC - *Three Way Catalytic*, ou Conversor Catalítico de Três Vias

LISTA DE SÍMBOLOS

\bar{X} – Média (Parâmetro estatístico)

B_R e A_R – Baixa e Alta rotação medida em rotação por minuto(rpm)

M – Mediana (Parâmetro estatístico)

s – Desvio padrão(Parâmetro estatístico)

V_1 – Representa a concentração de CO medida em percentagem de volume (%)

V_2 – Representa a concentração de CO_2 medida em percentagem de volume (%)

V_3 - Representa a concentração de HC medida em parte por milhão (ppm)

λ – Variável adimensional que indica a relação ar-combustível

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TERMOS E SIGLAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
1 INTRODUÇÃO	13
1.2 Justificativa e Relevância	14
1.3 Objetivo Geral.....	15
1.4 Objetivos Específicos	15
1.5 Organização da Dissertação.....	15
2 ELEMENTOS DE POLUIÇÃO.....	17
2.1 A História da Poluição do Ar	17
2.2 Poluição Urbana.....	21
2.3 Conceitos de Poluição do Ar	21
2.4 Ciclos e Poluição.....	22
2.5 Fontes de Poluição.....	23
2.6 Motor de Combustão Interna (MCI).....	24
2.7 Principais Componentes e Sistemas de um MCI.....	25
2.8 Processo de Combustão	27
2.9 Combustíveis	28
2.9.1 Gasolina.....	29
2.9.2 Álcool combustível.....	29

2.9.3 Gás natural veicular	31
2.10 Tecnologias de Conversão de Veículos Leves	33
2.11 Tecnologia Flex.....	35
3 ENGENHARIA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO	38
3.1 Mistura Ar/combustível.....	38
3.2 Formação e Controle da Mistura.....	39
3.2.1 O carburador	39
3.2.2 A injeção eletrônica de combustível.....	40
3.2.3 Tipos de injeção eletrônica.....	41
3.3 Controle de Emissões de Poluentes.....	42
3.3.1 Controle das emissões do escapamento.....	43
3.3.2 Controle das emissões evaporativas	44
3.3.3 Conversor catalítico de duas vias	45
3.3.4 Conversor catalítico de três vias.....	47
3.4 Conversores Cerâmicos e Metálicos	48
3.5 Conversão Catalítica e Emissões para Mistura Metanol-gasolina.....	50
3.6 Durabilidade do Conversor Catalítico	52
3.7 Conversão Catalítica e o GNV	53
3.7.1 Atividade catalítica e o GNV	54
3.8 Recirculação de Gases do Escapamento.....	57
3.9 Evolução da Legislação e das Normas no Brasil	61
4 INTRODUÇÃO À ESTATÍSTICA.....	65
4.1 Produção de Dados	65
4.2 Análise Exploratória de Dados	66

4.3	Descrição Gráfica das Distribuições	67
4.3.1	Análise de normalidade.....	70
4.4	Descrição Numérica das Distribuições	74
4.4.1	Medidas de centro.....	74
4.4.2	Medida de dispersão.....	75
4.5	Estratégia para <i>Outliers</i>	76
5	METODOLOGIA.....	81
5.1	Equipamentos.....	81
5.1.1	Princípio de funcionamento do analisador de gás	81
5.1.2	Descrição técnica do analisador de gás.....	82
5.2	Procedimento Experimental.....	83
5.3	Armazenamento dos Dados.....	85
5.4	Definição das Variáveis	86
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
6.2	Associação Entre Variáveis.....	89
6.3	Diagramas de Dispersão	90
6.3.1	Emissões de CO x CO ₂	90
6.3.2	Emissões de HC x CO ₂	92
6.4	Associação Entre as Variáveis: Idade (ano-modelo), HC e CO	93
6.5	Emissões de CO/HC e Rotação do Motor	96
6.6	Emissões de CO/HC e os Combustíveis: GNV, Gasolina e Mistura Álcool/Gsolina	98
7	CONCLUSÕES.....	100
	REFERÊNCIAS	102

CONSULTADAS.....	104
APÊNDICES	105
ANEXO.....	108

1 INTRODUÇÃO

A poluição do ar vem desde o tempo que o homem fez uso do fogo. Tribos nômades já utilizavam o fogo para queima de madeira, carvão vegetal e coque. Porém com o advento da indústria cerâmica e metalúrgica caracterizando o surgimento da revolução industrial, a qual se inicia no século XVIII, a poluição atmosférica começa a se tornar algo de proporções preocupantes, principalmente pelo surgimento da máquina a vapor, que era alimentada por combustíveis fósseis ou vegetais (BOUBEL, 1994).

A primeira atenção voltada para poluição do ar foi dada em 1947, em Los Angeles. Subseqüentemente, em 1952 o Dr. Arie J. Haagen-Smit afirmou em sua pesquisa que a poluição do ar, pelo menos em termos locais, era devida principalmente aos gases da exaustão dos automóveis. A partir de então a indústria automobilística americana inicia as primeiras medidas a fim de reduzir os níveis de emissões agora limitados por lei. No mesmo rumo seguiram Japão e Europa (GARRETT, 2001).

A maioria dos gases indesejáveis das emissões do escape é produzida em quantidades mínimas (partículas por milhão), são estes: óxidos de nitrogênio, denominado de NO_x , hidrocarbonetos não queimados (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), os sais de chumbo, aldeídos, cetonas entre outros. O CO_2 tornou-se uma preocupação no final dos anos 80, por se apresentar como um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. O monóxido de carbono é tóxico porque ele é absorvido pelos glóbulos vermelhos do sangue, inibindo a absorção do oxigênio necessário à vida. A toxicidade dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, por outro lado, surge indiretamente como resultado de reações fotoquímicas entre os dois sob luz solar, levando à produção de outros produtos químicos indesejáveis (GARRETT, 2001).

Desses, apenas: CO, HC e NO_x são de enorme importância em função das quantidades produzidas. No entanto, as concentrações desses gases podem se tornar mais significantes como o aumento do número de veículos em centros urbanos. A região metropolitana de Natal-RN ainda não enfrenta ainda graves problemas de poluição do ar. Todavia, os acréscimos no número de veículos no estado, que conta com uma frota de 546.044 veículos leves dos quais 221.585 estão registrados na capital, vem contribuindo para o aumento das emissões de gases poluentes principalmente em Natal (DETRAN, 2008)

Dados apresentados pelas concessionárias de veículos de Natal mostram que nos últimos anos, a média de venda de veículos novos é de aproximadamente de 14.400 veículos novos por ano na capital do estado. E o aumento da frota de veículos em circulação em Natal tem acarretado congestionamentos de veículos nas principais vias de trânsito, nos horários de pico, gerando uma redução da qualidade do ar nas regiões próximas a essas vias.

As pesquisas sobre emissões atmosféricas por veículos automotivos na cidade de Natal-RN foram iniciadas por BRITO (2005) com uma abordagem mais qualitativa acerca das emissões. O presente estudo iniciou-se em 2007 e buscou analisar estatisticamente a influência: Dos combustíveis, da rotação do motor, bem como da idade dos veículos nas emissões dos gases da exaustão veicular. Adicionalmente, o trabalho visa caracterizar a relação de dependência entre um gás poluente e outro.

1.2 Justificativa e Relevância

Nos Estados Unidos, a partir da década de 70, os regulamentos ambientais exigiam a redução de 90% das emissões veiculares até 1975. Com a criação da Agência Federal de Proteção Ambiental (EPA), sugeriram os primeiros métodos regulamentados para análise de gases em veículos automotores. Atualmente, o estado do RN não conta com programa de controle e monitoramento do ar a exemplo do estado do Rio de Janeiro, que há dez anos implantou o I/M (Programa de Inspeção e manutenção de veículos em uso), programa originariamente desenvolvido nos EUA.

Contudo, todo veículo equipado com o sistema de GNV é obrigado, em âmbito nacional, a submeter-se anualmente, a uma inspeção de segurança veicular, realizada por um organismo de inspeção credenciado pelo INMETRO. Daí a importância de organismos como o INSPETRANS, que ao realizar as inspeções de segurança, verifica dentre os diversos itens as emissões gasosas da exaustão veicular, contribuindo para um controle da qualidade do ar e propiciando pesquisas sobre o tema.

Atualmente, a literatura é vasta quando se aborda estudos sobre as emissões de gases da exaustão de motores do ciclo Otto à gasolina. Porém, estudos de emissões originadas de motores alimentados com GNV, são escassos, até mesmo no Brasil que é um dos líderes mundiais no uso desse combustível em sua frota de veículos. Mais incomuns, são as pesquisas que abordam o tema de forma mais quantitativa utilizando métodos comparativos dentro da estatística, como por exemplo, análise de variância.

Em face dessa escassez e de publicações que apresentam valores típicos de emissões que desconsideram a natureza da distribuição amostral dos dados, é relevante a elaboração de estudos através de métodos estatísticos que permitam avaliar, de forma eficaz, um pacote de dados.

Os dados analisados foram provenientes de inspeções realizadas no período de 6 de Agosto de 2007 a 14 de Janeiro de 2008, a partir de análises de gases padronizadas pela Resolução CONAMA nº 07, a qual regulamenta os padrões de emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos no Brasil.

1.3 Objetivo Geral

Analisar estatisticamente as emissões de CO e HC de uma frota de veículos bi e tri-combustíveis com motorização Gasolina/GNV e Flex/GNV¹.

1.4 Objetivos Específicos

1. Identificar os padrões de distribuição amostral das emissões de Hidrocarbonetos não queimados(HC), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂); bem como apresentar adequadamente os valores típicos desses poluentes para gasolina, mistura Álcool/Gasolina e GNV;
2. Analisar as relações de dependência entre as emissões de HC, CO e CO₂
3. Associar a idade dos veículos (Ano-modelo) com as emissões de HC e CO;
4. Comparar as emissões de HC e CO considerando os dois níveis de rotação do motor adotados pela Resolução CONAMA nº 07 (900 rpm e 2500 rpm);
5. Comparar as emissões de HC e CO a partir de: Gasolina, mistura álcool/gasolina e GNV.

1.5 Organização da Dissertação

Adicionalmente a este capítulo, que apresenta o tema do trabalho, a sua natureza, importância e seus objetivos, a dissertação é constituída de mais 6 capítulos, 9 apêndices, 1 Anexo e as referências bibliográficas.

¹ Os veículos que saem de fábrica com motorização original Gasolina ou Flex podem ser adaptados ao GNV, tornando-se, portanto bi-combustível (Gasolina/GNV) e tri-combustível (Gasolina/Álcool/GNV)

Aspectos introdutórios sobre poluição e conceitos básicos acerca de motores de combustão interna são abordados no capítulo 2, enquanto o capítulo 3 leva em consideração a importância da engenharia de controle das emissões oriundas de fontes móveis. O mesmo apresenta as técnicas de gerenciamento para o melhor funcionamento do MCI, bem como o desenvolvimento das principais técnicas e estratégias de controle de poluentes veiculares. O capítulo 4 se encarrega de introduzir os conceitos basilares de estatística bem como a produção de dados amostrais.

O capítulo 5 refere-se aos materiais e métodos, onde se descreve os equipamentos utilizados, o procedimento experimental assim como o processo de aquisição e organização dos dados. Em seguida o capítulo 6 discute os resultados obtidos comparando-os com a literatura. Por fim o capítulo 7 expõe as conclusões e sugestões do trabalho.

2 ELEMENTOS DE POLUIÇÃO

2.1 A História da Poluição do Ar

Uma das razões pelas quais as tribos na pré-história eram nômades devia-se ao fato das mesmas terem que se afastar periodicamente dos ambientes com odores muito fortes provocados pelos restos de animais e vegetais utilizados como alimentação pelos seres humanos daquela época. Quando os membros das tribos aprenderam a usar o fogo, eles usaram isso durante milênios e de certa forma isso contaminou o ar dentro de suas moradias com produtos de combustão incompleta. Ainda pode ser visto exemplos disso em algumas das partes mais primitivas do mundo. Depois da invenção da chaminé, a emissão de odores provenientes de alimentos foi reduzida dentro das moradias, porém por séculos o fogo aberto na lareira causou a produção de fumaça. Em 61 d.C. o filósofo romano Sêneca descreveu dessa forma as condições de Roma:

“Assim que eu me afastei do ar poluído de Roma e do fedor exalado pelas chaminés esfumaçadas, vertendo aqueles vapores e fuligens de dentro delas, eu senti uma alteração de minha disposição.”

As principais indústrias associadas à poluição do ar nos séculos que precederam à revolução industrial foram a metalúrgica, cerâmicas e a manufatura de produtos de origem animal (Figura1). Na idade do bronze e do ferro, muitas aldeias foram expostas a várias fontes de fumaça. O ouro e o cobre eram forjados, e o barro era cozido para produzir, cerâmicas, vidros e tijolos 4000 anos a.C. O uso de ferro e de peles curtidas data de 1000 anos a.C. e a maioria dos métodos modernos de metalurgia eram conhecidos antes do ano 1 a.C. e essa indústria contribuía de forma significativa para poluição de todo ambiente atmosférico (BOUBEL, 1994).

A revolução industrial foi conseqüência de uma necessidade de utilização de vapor para fornecer energia para bombear água e mover máquinas. Isso começou no início do século XVIII, quando Savery, Papin e Newcomen conceberam os seus motores de bombeamento e em seguida o surgimento do motor alternativo de James Watt em 1784. Esse motor reinou com supremacia até o aparecimento da turbina a vapor no século XX a qual exigia bastante vapor e até o advento da turbina nuclear, essas turbinas eram alimentadas por combustíveis vegetais e fósseis. Durante a maior parte do século XIX, o carvão foi o principal combustível, embora já se utilizasse alguns óleos para geração de vapor no final desse século (BOUBEL, 1994).



Figura1: Forno de fundição na Suíça em 1556

O problema da poluição atmosférica predominante do século XIX era a produção de fumaça e cinzas a partir da queima de carvão ou óleo nas caldeiras de usinas (Figura 2), locomotivas e navios, e em casa era o aquecimento de lareiras e fornos. A Inglaterra assumiu a liderança na abordagem desse problema e a partir de 1819 começaram a surgir os primeiros comitês empenhados em criar ações que reduzissem a poluição gerada por motores (BOUBEL, 1994).

Nos Estados Unidos, a redução de fumaça (como controle da poluição atmosférica) foi considerada uma responsabilidade municipal, não houve regulamentos e leis federais ou estaduais. Os primeiros decretos municipais que limitavam as emissões de fumaça negra e cinzas surgiram na década de 1880 e foram dirigidas às indústrias, locomotivas e aos navios, em vez de fontes domésticas (BOUBEL, 1994).

Ao final do século XIX, a poluição do ar pelas fábricas de todo o mundo tinha chegado a um pico. Danos causados pela fundição de minérios foram reconhecidos como um problema em vários lugares, e então se começou a desenvolver as primeiras tecnologias para

controle de poluição do ar como: purificadores de ar de remoção de gases ácidos proveniente de efluentes de córregos, ciclones e filtros domésticos (BOUBEL, 1994).

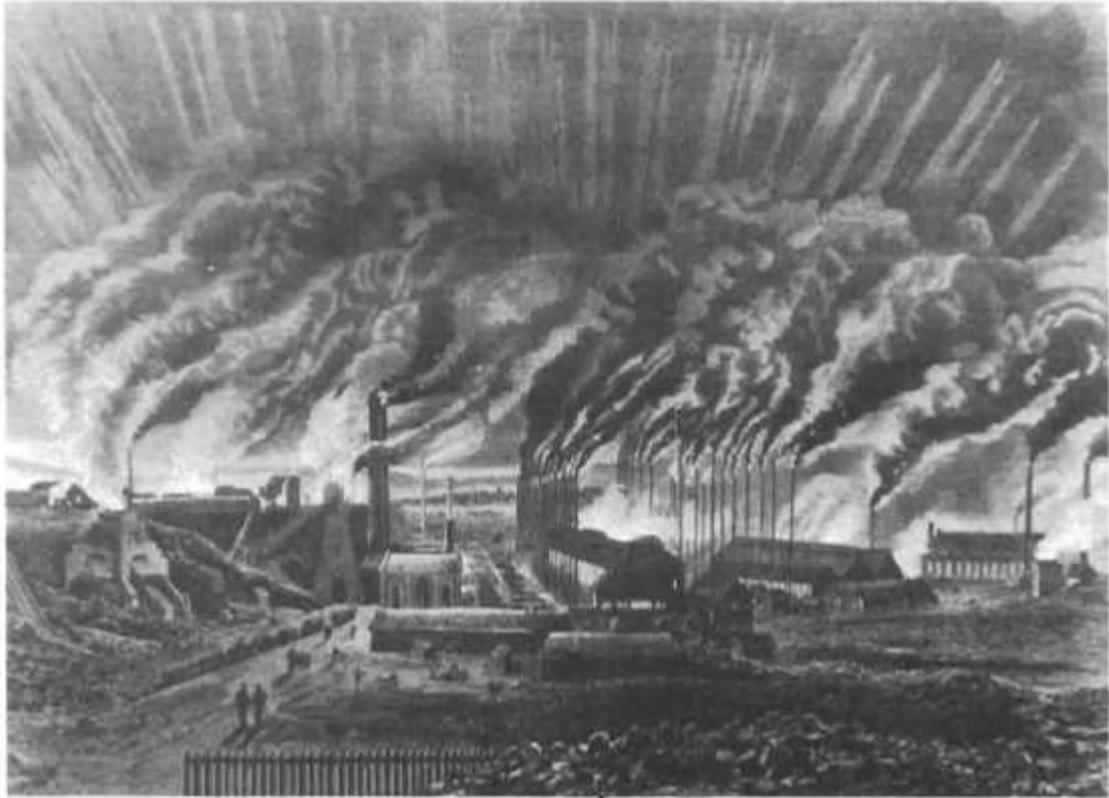


Figura 2: Gravado em 1876, no Oeste da Alemanha, mostra uma fundição de metal

No período de 1900 a 1925 as locomotivas a vapor começaram a entrar nos grandes centros urbanos, e até o final desse período os terminais urbanos de muitas ferrovias foram eletrificados com o uso de geradores a óleo, o que ocasionou mais poluição. A substituição do carvão por hidrocarbonetos em muitas aplicações diminuiu a emissão de cinzas provenientes dessas locomotivas. Com a rápida evolução tecnológica da indústria ocorreu uma mudança significativa no número de automóveis, que era de quase nenhum na virada do século para milhões em 1925 (BOUBEL, 1994).

Tabela 1: Venda anual de veículos nos EUA

<i>Ano</i>	<i>Total</i>	<i>Ano</i>	<i>Total</i>
1900	4.192	1950	8.003.056
1905	25.000	1955	9.169.292
1910	187.000	1960	7.869.221
1915	969.930	1965	11.057.366
1920	2.227.347	1970	8.239.257
1925	4.265.830	1975	8.985.012
1930	3.362.820	1980	8.067.309
1935	3.971.241	1985	11.045.784
1940	4.472.286	1990	9.295.732
1945	725.215		

O primeiro Simpósio nacional de poluição do Ar nos Estados Unidos foi realizado na Califórnia, em 1949 e em 1950 a primeira conferência em Washington. Pesquisa sobre poluição do ar começou na Califórnia, e uma fundação técnica de meteorologia e poluição do ar foi criada no intuito de divulgar os resultados dos estudos e assim ajudar no controle da poluição. Durante esse período, nenhuma legislação ou regulamento de poluição foi adotado em qualquer lugar do mundo, contudo o primeiro estado a adotar uma lei de poluição do ar nos EUA foi a Califórnia em 1947 (BOUBEL, 1994)

A partir de 1950, após uma catástrofe que atingiu Londres em 1952, instituiu-se o ato do ar limpo em 1956 que provocou mudanças nos sistemas de aquecimento interno das casas e isso reduziu significativamente a emissão de fumaça. Nesse mesmo período países da Europa, bem como Japão, Austrália e Nova Zelândia passaram a sofrer com o mesmo problema em suas principais cidades e a partir disso começaram a adotar medidas de controle de poluição em nível nacional. Em Los Angeles o problema começou a se agravar, bem como em outras cidades grandes dos Estados Unidos, e em 1955 foi promulgada a primeira lei federal de controle da poluição do ar. E em 1970 foi criada nos Estados Unidos a EPA (BOUBEL, 1994).

A partir da década de 70 o controle da poluição do ar começou a ser implantado nos projetos de fabricação dos automóveis e nas construções de fábricas ou usinas, em vez de se preocupar apenas com o controle posterior. Além disso, pela primeira vez foi dada uma grande atenção aos problemas causados pelo “efeito estufa”, principal consequência do acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera e a destruição da camada de ozônio, em consequência da emissão de CFC (BOUBEL, 1994).

2.2 Poluição Urbana

Existem dois tipos diferentes de problemas de poluição do ar nas zonas urbanas. Um deles é a liberação de poluentes primários (aqueles liberados diretamente das fontes poluidoras). O outro é a formação de poluentes secundários (aqueles que são formados através de reações químicas dos poluentes primários) (BOUBEL, 1994).

Problemas de poluição do ar podem ser causados por fontes individuais em escala urbana bem como local. Para poluentes que são relativamente não reativos, tais como o monóxido de carbono e partículas em suspensão, ou relativamente com reação lenta tais como o dióxido de enxofre. As contribuições de fontes individuais juntas podem produzir altas concentrações. Dado que uma das principais fontes de monóxido de carbono são os veículos automotores, picos de emissão desse poluente podem ocorrer em vias urbanas com alto fluxo veicular. Essas emissões são extremamente elevadas com os veículos em marcha lenta, e se altos edifícios rodeiam essas vias o volume de poluição fica restrita principalmente nessas regiões, o que resulta em altas concentrações (BOUBEL, 1994)

Problemas urbanos são resultados da formação de poluentes secundários. Um grande problema das áreas metropolitanas é formação de ozônio, em virtude da reação fotoquímica de óxidos de nitrogênio e diversas espécies de hidrocarbonetos. Essas reações são catalisadas pela luz ultravioleta do sol e são, portanto denominadas reações fotoquímicas. Os óxidos de nitrogênio, principalmente o óxido nítrico (NO), e também o dióxido de nitrogênio (NO₂) são emitidos a partir da combustão de veículos automotores. Os hidrocarbonetos são emitidos por diversas fontes e as diversas espécies deste, tem reatividades variáveis (BOUBEL, 1994).

2.3 Conceitos de Poluição do Ar

A poluição do ar é a presença de materiais estranhos no ar. Tudo que pode ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de modo que possa flutuar no ar, deve

ser classificado como poluente potencial (SEWELL apud BRITO, 2005). Quando existe uma alteração na composição ou propriedades do ar atmosférico causada por ações diretas ou indiretas do homem que gerem a emissão de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente, diz que o ar está poluído (ZURITA apud BRITO, 2005).

A poluição do ar pode ser entendida como a presença, na atmosfera, de substâncias que: Causem prejuízos ao homem, aos animais, aos vegetais e à vida microbológica; provoquem danos aos materiais; interfiram no gozo da vida e no uso da propriedade (MOTA apud BRITO, 2005).

Na legislação brasileira, a poluição é definida em termos gerais pela lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, no art. 3º, III, como: “A degradação da qualidade do ambiente resultante de atividade que direta ou indiretamente: a) prejudique a saúde, a segurança, o bem-estar da população; b) criem condições adversas as atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”. (BRITO, 2005).

2.4 Ciclos e Poluição

O ciclo que mais influencia a variabilidade da concentração de poluição é o ciclo diurno. Em primeiro lugar existe um padrão diurno, pois em geral as emissões provenientes de todas as categorias de fontes são menos durante a noite do que durante o dia. Fábricas e empresas encerram ou reduzem as suas atividades durante a noite, e o tráfego de veículos, aviões e trens são bastante reduzidos (Figura 3). Em segundo lugar há um padrão diurno de transporte e difusão de poluentes. Outro ciclo significativo é o ciclo de semana. Isto está relacionado diretamente com o padrão de vida da semana comparado com o do fim de semana. (BOUBEL, 1994).

Finalmente, há o ciclo sazonal associado com a diferença de clima e das quatro estações climáticas do ano (verão, inverno, outono e primavera). As mudanças climáticas afetam fortemente os processos de difusão e transporte dos poluentes (BOUBEL, 1994).

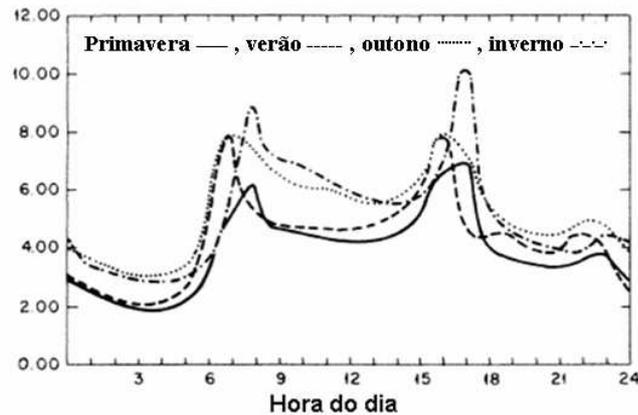


Figura 3: Variação típica da concentração de monóxido de carbono no centro de uma cidade dos Estados Unidos.

2.5 Fontes de Poluição

As fontes de poluição atmosféricas são tão numerosas quanto os grãos de areia. Na verdade, os próprios grãos de areia tornam-se poluentes quando os ventos deixam-nos em suspensão na atmosfera. Podemos então classificar como um tipo de poluição natural o que implica dizer que ela sempre existiu. Fontes naturais de poluição são definidas como fontes que não são provocadas pela ação humana (BOUBEL, 1994).

Outro exemplo de fonte natural de poluição são os vulcões (Figura4), que expõem $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ e metano dentre outros. A emissão de uma erupção pode ser de tal magnitude que pode prejudicar o ambiente por uma considerável distância da origem vulcânica (BOUBEL, 1994).

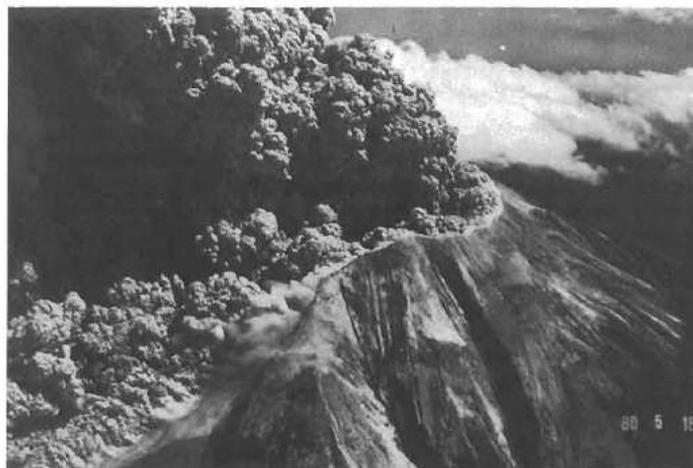


Figura 4: Emissões vulcânicas

Outro exemplo de fontes naturais são as plantas que embora desempenhem um papel importante na conversão de dióxido de carbono em oxigênio, elas também são fontes de

hidrocarbonetos e a produção de pólen pode causar alergia em seres humanos (BOUBEL, 1994).

A dependência de produtos industrializados pelo ser humano resultou na transferência das fontes de poluição do indivíduo para a indústria. Uma grande parte da poluição industrial vem da fabricação de produtos a partir de matérias primas como: ferro a partir de minérios, madeira de árvores, gasolina a partir de petróleo, pedras de pedreiras e etc. O processo de produção dessas indústrias gera resíduos os quais são denominados de poluentes. A indústria em geral é considerada como uma fonte fixa de poluição e emitem relativamente poluentes em grandes quantidades e com grande variedade quanto ao tipo e os efeitos. O controle das fontes fixas de poluição é realizado, normalmente, através de aplicação de tecnologia ou de forma mais eficaz através de regulamentação (BOUBEL, 1994).

Agora consideraremos as fontes móveis de poluição, as quais são definidas como sendo aquelas que possam se mover de um lugar para outro, por meio de energia própria. De acordo com esta definição, automóveis, aviões, trens e navios são enquadrados nessa categoria. Fontes móveis, portanto são constituídas por vários tipos de veículos equipados com motores de diferentes ciclos e alimentados por uma variedade de combustíveis. A fonte móvel predominante em todos os países industrializados é o automóvel (BOUBEL, 1994).

Tabela 2: Principais poluentes emitidos por fontes móveis

<i>Tipo de propulsor</i>	<i>Combustível</i>	<i>Maioria das emissões</i>	<i>Tipo de veículo</i>
Ciclo Otto	Gasolina	HC, CO, CO ₂ , NO _x	Automóveis, caminhões, ônibus
Motor dois tempos	Gasolina	HC, CO, CO ₂ , NO _x , material particulado	aviões, motocicletas
Ciclo Diesel	Óleo diesel	NO _x , material particulado, SO _x , CO ₂	Motocicleta, motor estacionário
Turbina a gás/vapor	Óleo de turbina/carvão	NO _x , material particulado, SO _x , CO ₂	Automóveis, caminhões, ônibus, trens, navios
			Aviões, trens, navios

2.6 Motor de Combustão Interna (MCI)

O motor de combustão interna ciclo Otto - que equipa os veículos abordados neste trabalho - tem o seu ciclo motor definido em quatro tempos (Figura5) que se desenvolvem em

duas voltas completas da árvore de manivelas. Os quatro tempos de um motor ciclo Otto podem ser assim definidos:

1. Admissão – Se caracteriza pela entrada da mistura ar combustível através da válvula de admissão provocada pelo movimento descendente do pistão do PMS ao PMI. Nessa etapa, a válvula de admissão permanece aberta e a de escapamento fechada;
2. Compressão – Com as válvulas fechadas, o pistão comprime a mistura ao se mover do PMI ao PMS. Pouco antes de chegar ao PMS, uma vela de ignição promove uma centelha elétrica, que provocará o início da combustão da mistura admitida na fase anterior, com conseqüente elevação da pressão;
3. Expansão – A queima da mistura provoca uma elevação da pressão no cilindro, o que promove o deslocamento do pistão para o PMI, realizando trabalho. Durante essa fase as válvulas permanecem fechadas. O tempo de expansão também é denominado de tempo motor;
4. Exaustão – Em um deslocamento do PMI ao PMS com a válvula de escapamento aberta, o pistão expulsa os gases queimados do cilindro para a atmosfera.

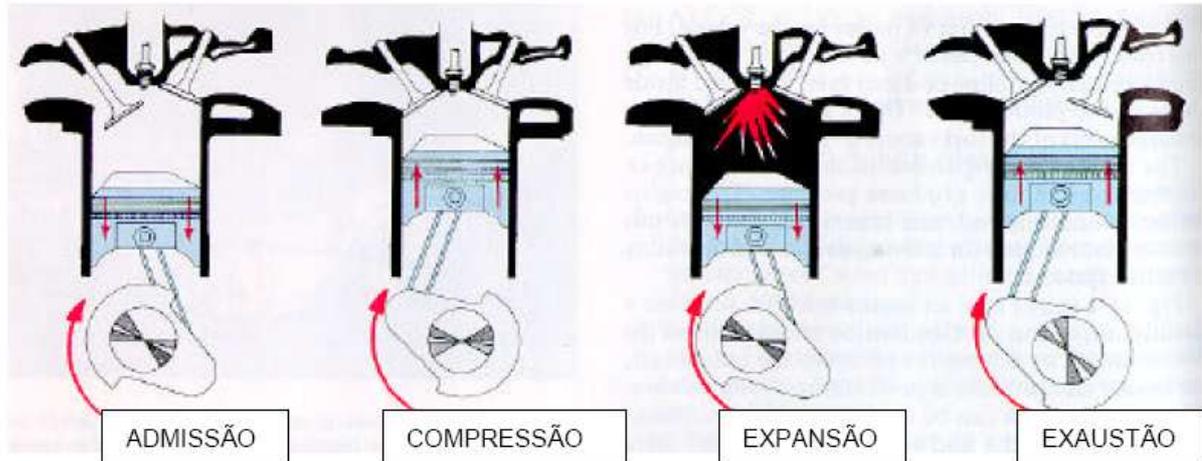


Figura 5: Tempos do motor ciclo Otto

2.7 Principais Componentes e Sistemas de um MCI

Conforme (WILDNER apud CÂMARA, 2006), um motor de combustão interna possui a seguinte composição:

- Bloco do motor – Abriga os cilindros. Possui mancais para fixação do eixo virabrequim, galerias de lubrificação/arrefecimento e furos para fixação de componentes do próprio

motor ou auxiliares. Em geral é produzido em ferro fundido, sendo que modernamente ligas de alumínio têm sido utilizadas, com vantagens em termos de redução de peso e melhores características em temperaturas elevadas;

- Cabeçote – Local onde são montadas as válvulas, seus eixos de acionamento e as velas de ignição. Geralmente de alumínio, possui numerosas galerias de arrefecimento, uma vez que contém as câmaras de combustão, onde elevadas temperaturas são atingidas com a queima de combustível;
- Conjunto móvel – É composto pelos pistões, bielas, eixo virabrequim e volante. Tem a função de transformar o movimento linear dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, que possui em um de suas extremidades um disco de inércia, denominado volante do motor;
- Cárter – Situado na parte inferior do motor, tem como função captar e armazenar o óleo do sistema de lubrificação;

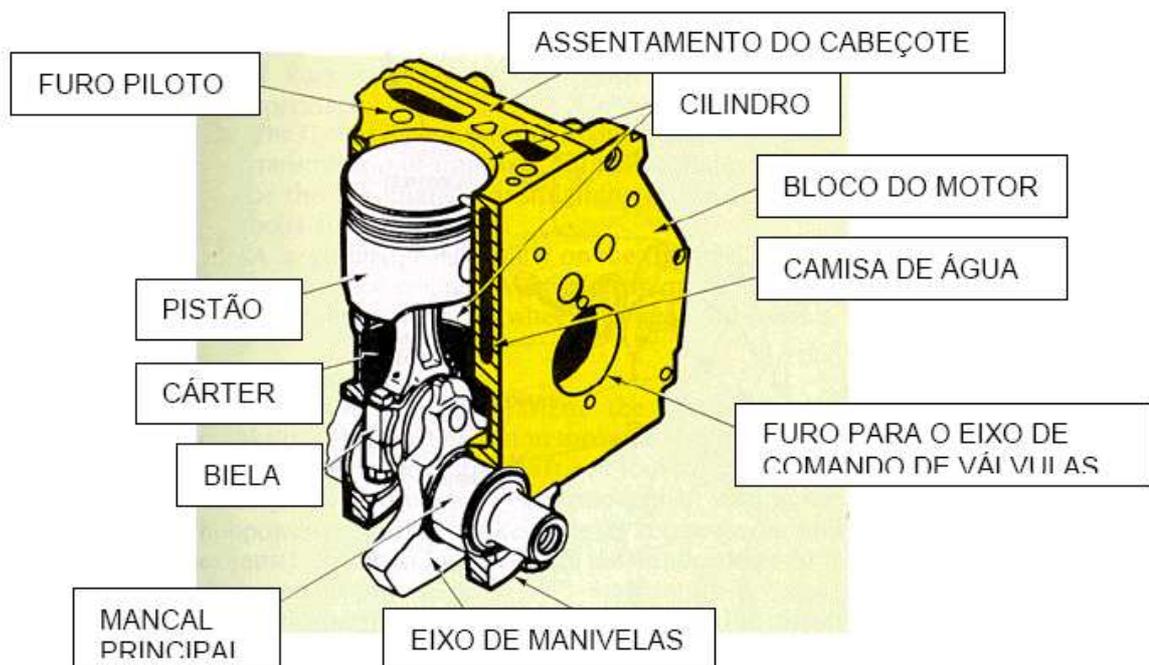


Figura 6: Principais componentes do MCI

- Sistema de lubrificação – Possui uma bomba acionada pelo próprio motor que bombeia lubrificante aos diversos pontos do motor, o que refrigera, lubrifica, limpa e contribui para a vedação da compressão dos pistões;

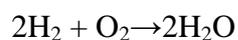
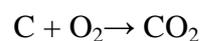
- Sistema de arrefecimento – Faz circular um fluido refrigerante (geralmente uma mistura de água e aditivos) para manter a temperatura do motor dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante;
- Sistema de alimentação – É responsável pela formação da mistura ar combustível consumida pelo motor. Esse sistema possui sensores e atuadores de forma a determinar a quantidade ideal de combustível que deve ser fornecida ao motor a cada tempo motor;
- Sistema de ignição – Presente nos motores ciclo Otto, promove centelhamentos elétricos nos cilindros de forma a inflamar a mistura ar combustível comprimida pelos pistões no momento correto.

2.8 Processo de Combustão

A combustão é amplamente utilizada e ainda é uma das reações químicas menos compreendidas que temos a nossa disposição. Ela é definida como a união rápida de uma substância com o oxigênio acompanhado de luz e energia térmica (BOUBEL, 1994).

Usa-se principalmente o calor da combustão através da mudança de energia química do combustível para energia térmica. Isso se faz com combustíveis fósseis em usinas termelétricas, fornos, motores de veículos e etc. Também se utiliza a combustão como meio para descartar materiais indesejados e até mesmo na incineração de resíduos (BOUBEL, 1994).

Equações de combustão na sua forma mais simplificada:



Formam-se como produtos dessas equações o dióxido de carbono e água os quais são incolores e sem odor. Os problemas com a combustão ocorrem porque são formados outros produtos nessa reação, e a maioria deles são considerados poluentes atmosféricos. Estes podem ser: O monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, fumaça, cinzas, metais, óxidos metálicos, sais metálicos, aldeídos, cetonas, ácidos, hidrocarbonetos, e muitos outros. Apenas nas últimas décadas que os pesquisadores de combustão começaram a se preocupar com a emissão desses materiais, em quantidades relativamente pequenas (BOUBEL, 1994).

Nos motores automotivos, diferentemente de fontes fixas como caldeiras, os produtos da exaustão são muito diferentes dos da caldeira, tanto em quantidade como qualidade, haja vista que em um motor de quatro tempos ocorrem diversas mudanças nas condições de operação, como por exemplo: Temperatura e rotação do motor. Os principais poluentes provenientes da combustão de motores veiculares são resultados da reação de combustão incompleta. Na Figura 7 são apresentados esses poluentes formados de acordo com os combustíveis (SANTOS, 2007).

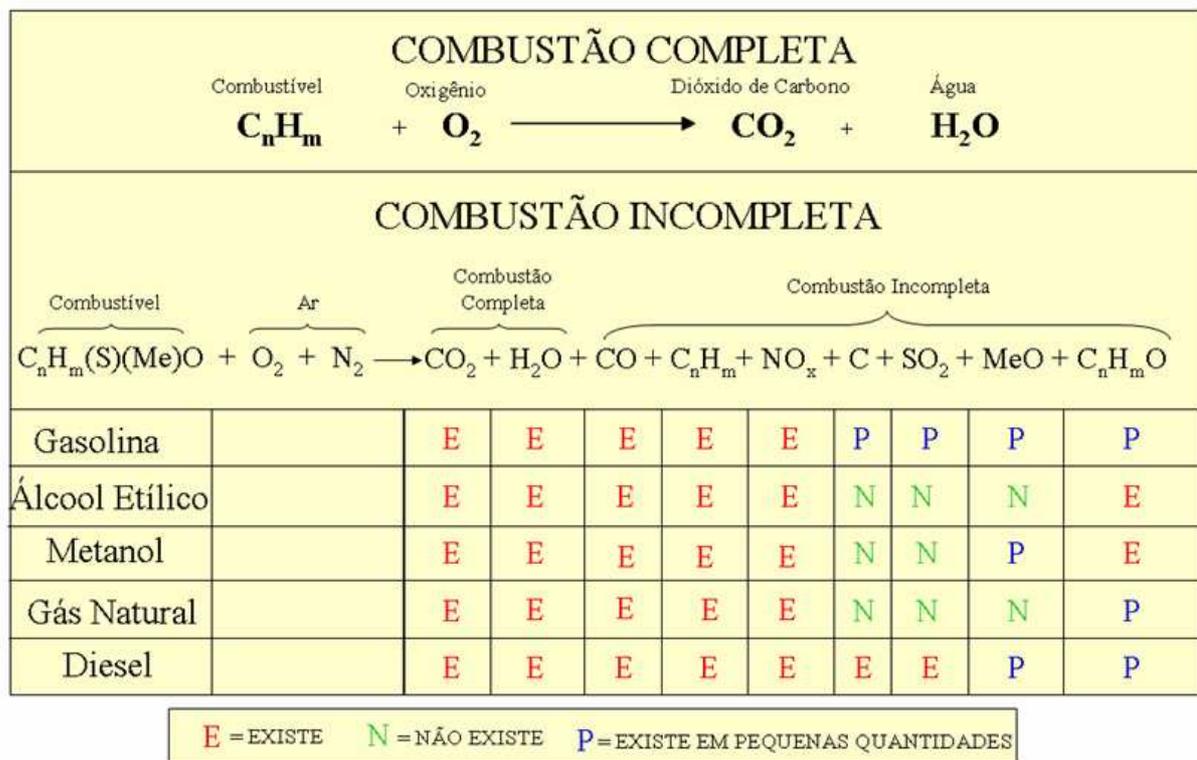


Figura 7: Combustíveis e os principais poluentes

2.9 Combustíveis

Os combustíveis podem ser:

- Combustível gasoso: gás natural, gás liquefeito de petróleo, gás combustível de refinaria, gás de alto forno, biogás, etc.
- Combustível líquido: querosene, óleo diesel, óleo combustível, derivados de petróleo (Ex. Gasolina), derivados da cana-de-açúcar (Ex. Álcool anidro), etc.
- Combustível sólido: carvão mineral, lenha, carvão vegetal, coque verde de petróleo, bagaço de cana, etc. (LORA, 2009).

2.9.1 Gasolina

A gasolina é um derivado do petróleo e o combustível mais usado em motores a explosão de ciclo Otto em todo o mundo. Ainda apresenta uma excelente relação entre disponibilidade, facilidade de transporte e armazenamento, conteúdo energético e preço em relação a outros combustíveis (MENDES, 2004).

A Portaria ANP nº 309 de 2001, complementada pelo Regulamento Técnico ANP nº 5/2001 estabelece as especificações para a comercialização de gasolinas automotivas em todo o território nacional. A Portaria define dois tipos de gasolina automotiva:

- Gasolina “A” - é a produzida no País, a importada ou a formulada pelos agentes econômicos autorizados para cada caso, isenta de componentes oxigenados e que atenda ao Regulamento Técnico;
- Gasolina “C” - é aquela constituída de gasolina A e álcool etílico anidro combustível, nas proporções e especificações definidas pela legislação em vigor e que atenda ao Regulamento Técnico.

A gasolina “A” destina-se à mistura com álcool, e a gasolina “C” é a gasolina adicionada de álcool anidro e que é encontrada nos postos de abastecimento (MENDES, 2004).

O Artigo 9º da Lei 8723/98 estabelece que o teor de mistura de álcool à gasolina para formação da gasolina “C” deve ser de 22%, podendo este percentual ser elevado até o limite de 24% ($\pm 1\%$) por decisão do Poder Executivo.

Segundo os fabricantes de veículos, o limite máximo admissível para a adição de álcool anidro à gasolina é de 24% a 25%, sendo os motores a gasolina vendidos, no país, projetados e configurados para operarem com uma mistura de 22% de álcool (MENDES, 2004).

2.9.2 Álcool combustível

Segundo MENDES (2004, p. 82) “O álcool foi o combustível dos primeiros automóveis, e embora tenha sido muito cedo abandonado cedendo seu lugar à gasolina por causa dos custos de produção e transporte, nunca deixou de ser uma alternativa tecnologicamente viável como combustível para motores Otto”. A grande produção de cana de açúcar do Brasil possibilita o emprego do álcool há bastante tempo como combustível para veículos leves.

“Em 1975 foi criado o Programa Nacional do Álcool – PROALCOOL. Este programa foi implementado com significativos investimentos estatais e privados, com muitos subsídios do Governo Federal. O aumento da produção nacional de petróleo e o uso do álcool como combustível automotivo fizeram com que diminuíssem as despesas com importação de petróleo ao longo da década de 80”. (MENDES, 2004, p. 82).

Na década de 90 o PROALCOOL começa a ser questionado devido a várias mudanças na legislação que regulava o uso desse combustível e ao fato da produção do mesmo não acompanhar a demanda de veículos. Após esses acontecimentos surgem propostas alternativas como metanol e etanol obtidos de outras fontes que não fossem a cana-de-açúcar. Devido a esses problemas:

[...] o percentual do álcool anidro na gasolina sofreu algumas variações em função da redução da demanda por álcool hidratado, do aumento da demanda por álcool anidro e às variações dos preços do açúcar no mercado internacional. Assim, em 1993, o teor de álcool anidro na gasolina foi oficializado em 22%, podendo variar de 20 a 24%, mas mantendo-se em 22% até 1997 quando o teor de álcool sofreu um aumento para 24%. Em agosto de 2000, através do Decreto no 3.552, o percentual de álcool etílico na gasolina foi reduzido para 20%. Em maio de 2001, o Decreto nº 3.824 determinou que o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina seria de vinte e dois por cento. Cabe ressaltar que a adição de até 22% de álcool à gasolina foi efetuada sem a necessidade de modificações no motor. O percentual de adição atual é de 25%[...]. (SZWARCFITER, 2004, p. 50)

É importante registrar que no início do PROALCOOL as emissões dos veículos movidos a álcool eram bem menos em comparação com as dos veículos a gasolina, destacando o CO (Figura) (SZWARCFITER, 2004, p. 51)

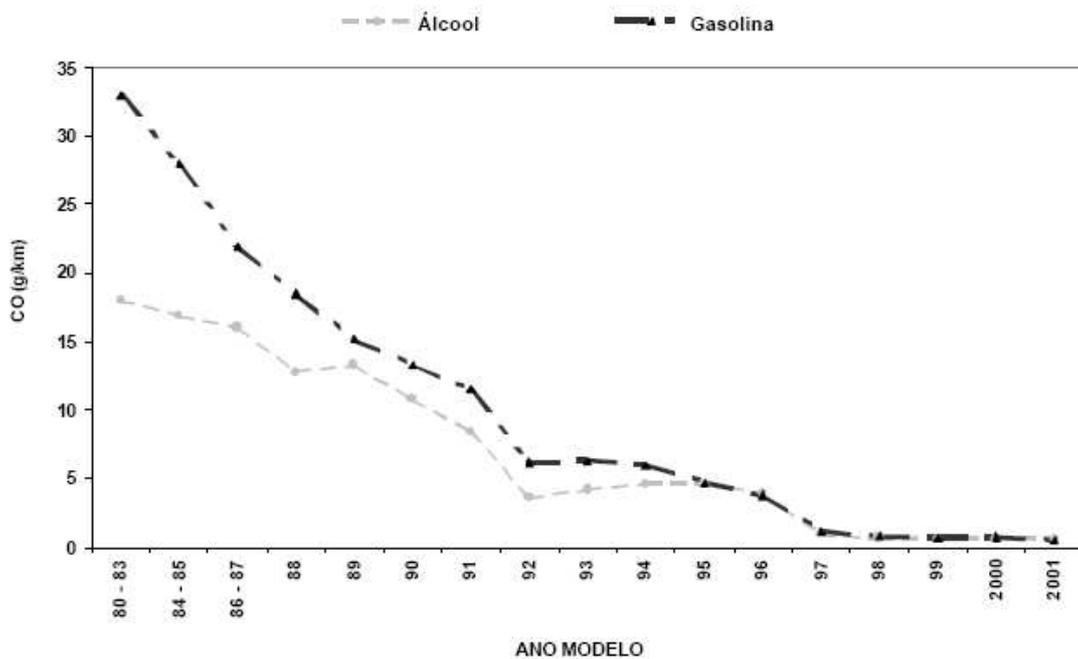


Figura 8: Comparação entre as emissões de CO originadas por veículos movidos a álcool e a gasolina

Em termos gerais, pode-se dizer que a introdução do álcool como combustível causa uma diminuição nas emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, partículas, óxido de enxofre e eliminação da emissão de chumbo. Entretanto, aumenta as emissões de aldeído acético e modifica a composição dos combustíveis não queimados (CETESB, 1999).

2.9.3 Gás natural veicular

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, resultante da composição da matéria orgânica fóssil, atualmente encontrado em abundância, na natureza, na maior parte das vezes associado ao petróleo, mas existindo, também, poços somente de gás (não associado). É composto principalmente por metano (de 78% a 90% em volume), podendo apresentar outros hidrocarbonetos mais pesados, gás carbônico, nitrogênio, água e outras impurezas (PROCONVE, 2006).

O gás natural tem temperatura de ignição superior a 600°C, muito acima da temperatura de ignição do álcool e da gasolina (entre 200°C a 300°C). A queima do gás natural, por ser mais completa do que outros combustíveis, reduzem as emissões de monóxido e hidrocarbonetos, em comparação com a gasolina.

O motor de combustão interna, movido a gás natural, apareceu no final do século XIX (1889), na feira mundial de Paris, mas o gás natural veicular passou a ser utilizado

na maioria dos países que adotaram esse combustível quase um século depois (PROCONVE, 2006).

O gás natural tem uma grande diversidade de aplicações industriais (utilizado como energético em máquinas industriais – ex. geração de vapor para movimentar turbinas; como insumo da indústria gasoquímica – que como a petroquímica, produz uma gama de produtos químicos industriais, plásticos, tintas e fibras, além de fertilizantes e derivados, dentre outras aplicações) comercial, residencial (fogões, aquecedores de água e, em países de clima frio, nos sistemas de calefação) e veicular. É, também, utilizado na recuperação secundária de campos petrolíferos pela sua reinjeção.

A utilização do gás natural como combustível para veículos, conhecido como Gás Natural Veicular (GNV) ou Gás Metano Veicular (GMV), vem ganhando espaço crescente na frota mundial.

Tabela 3 apresenta estimativas de frota mundial de veículos movidos a GNV, considerando somente os países com as maiores frotas (PROCONVE, 2006).

Tabela 3: Frota mundial de veículos movidos a GNV

<i>País</i>	<i>Veículos</i>	<i>Ano dos dados</i>
Argentina	1.413.664	Jan 05
Brasil	1.000.000	Abr 05
Paquistão	800.000	Jul 05
Itália	420.800	Mar 05
Índia	204.000	Abr 04
EUA	130.000	Mai 03
China	69.300	Abr 03
Egito	52.000	Abr 04
Venezuela	50.000	Jan 04
Ucrânia	45.000	Dez 03
Colômbia	43.380	Set 04
Rússia	36.000	Dez 03
Bangladesh	31.988	Dez 04
Iran	22.058	Dez 04
Japão	24.684	Jun 05

<i>País</i>	<i>Veículos</i>	<i>Ano dos dados</i>
Canadá	20.505	Ago 01
Alemanha	27.175	Mar 05
Bolívia	28.790	Mai 05

O funcionamento de um motor de ignição por centelha com combustíveis líquidos ou gasosos se dá de forma análoga, porém há algumas características particulares do uso do GNV em motores do ciclo Otto. (PROCONVE, 2006).

No caso do resfriamento do sistema de admissão e da câmara de combustão, para combustíveis líquidos há uma transferência de calor do carburador e do coletor de admissão para vaporizar o combustível, para combustíveis gasosos não há remoção do calor. O gás admitido ocupa um volume maior se comparado aos combustíveis líquidos, fato que provoca uma perda de potência no motor da ordem de 10%. A mistura ar/gás ioniza menos o ambiente o que matem o sistema de ignição em boas condições de uso quando comparado aos combustíveis líquidos. O processo de combustão gera pequena formação de carbono e por conseqüência menores taxas de desgaste. O óleo lubrificante não é contaminado por resíduos de fuligem nem sofre diluição, provocando um aumento no período de troca do mesmo e por fim o gás natural possui um elevado poder anti-detonante possibilitando a obtenção de maiores rendimentos sem detonação por meio de conversão de motores a álcool, *flexfuel* com o emprego de dispositivo de avanço automático (MACHADO, 2007).

2.10 Tecnologias de Conversão de Veículos Leves

As tecnologias aplicadas pelos fabricantes podem ser classificadas da seguinte forma:

- 1ª Geração – São dispositivos aplicados a carros com carburadores constituídos de componentes mecânicos sem a utilização de sensores e componentes eletrônicos. Nesse dispositivo o gás é fornecido a baixa pressão, sendo aspirado pelo próprio motor pela depressão do coletor de admissão.
- 2ª Geração – São aqueles aplicados a carros com carburadores e injeção eletrônica de gasolina/álcool, porém, não para os sistemas de injeção mais sofisticados. A distinção principal para os dispositivos de 1ª e os de 2ª geração está utilização de um Venturi desenvolvido para o gás natural, ao invés de utilizar o carburador do veículo.
- 3ª Geração – A diferença entre os dispositivos de 2ª e 3ª geração está na utilização de um sistema de alimentação de combustível pressurizado no coletor de admissão, ao

invés do emprego de um misturador para a carburação da mistura ar/combustível (GNV) através da aspiração.

- 4ª Geração – São dispositivos incorporando tecnologia eletrônica de controle da combustão semelhante a tecnologia adotada nos carros mais modernos a gasolina, com sistema de injeção/ignição eletrônica de gasolina/álcool mais sofisticados. A Figura9 apresenta um resumo da evolução dos kit's de conversão inclusive com a presença da 5ª Geração (SCHWOB, 2003)

E V O L U Ç Ã O	<i>Kit de conversão</i>	<i>Veículos</i>	<i>Características</i>	<i>Valor (UUS)</i>
	1ª geração	Carburados (mecânico e eletrônico)	<ul style="list-style-type: none"> ● Acionamento pneumático para a liberação do fluxo de gás; ● Regulagem mecânica e manual da vazão do gás, com chave comutadora de três estágios. 	780.00
	2ª geração	Carburados ou com injeção eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> ● Alimentação do gás através de um mesclador; ● Possuem emuladores de bicos injetores e de sonda lambda. 	975.00
	3ª geração	Injeção eletrônica multiponto	<ul style="list-style-type: none"> ● Controle eletrônico da vazão da mistura GNV+ar em função da sonda lambda, rotação e carga do motor; ● Acionamento eletrônico da alimentação por um motor de passo. 	1,300.00
	4ª geração		<ul style="list-style-type: none"> ● Injeção de gás por bicos injetores de forma paralela no coletor de admissão; ● Redutor de pressão de dois estágios; ● Eliminação da ocorrência do retorno de chama. 	1,700.00
5ª geração	<ul style="list-style-type: none"> ● Injeção de gás por bicos injetores de forma sequencial no coletor de admissão; ● Redutor de pressão de dois estágios; ● Eliminação da ocorrência do retorno de chama; ● Menor comprometimento de desempenho do motor. 		2,000.00	

Figura 9: Evolução dos kit's de conversão para GNV

À guisa de ilustração a Figura0 mostra os principais componentes de um kit de adaptação para o GNV de 1ª e 2ª geração.

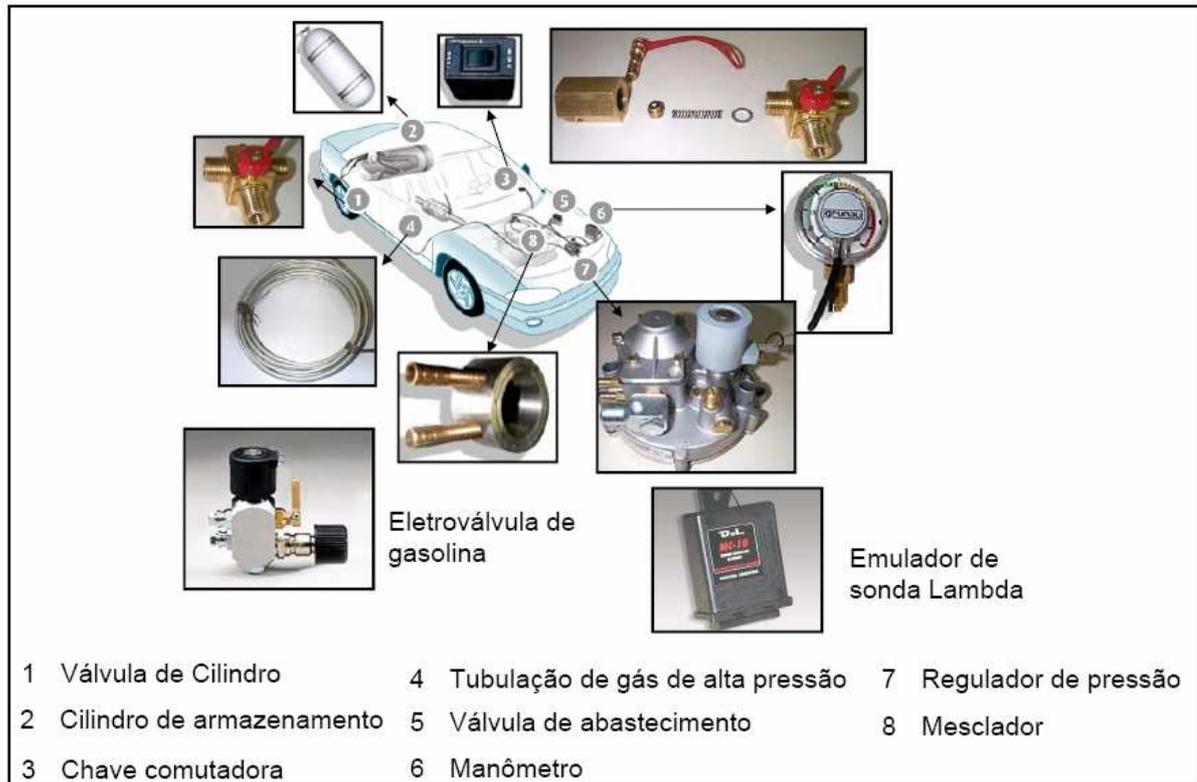


Figura 10: Componentes de kit's GNV de 1ª e 2ª Geração

2.11 Tecnologia Flex

A tecnologia conhecida como *Flex-Fuel* nasceu de pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão no final da década de 80. Buscava-se uma solução para o problema da falta de infra-estrutura de distribuição e abastecimento para uso do metanol e etanol, que inviabilizava o uso e a expansão desses combustíveis. Nos EUA essa tecnologia existe desde 1992 e, aproximadamente, mais de três milhões de veículos circulam com essa tecnologia (SZWARCFITER, 2004). A diferença entre a tecnologia brasileira e a norte americana é que a primeira permite o uso de 100% de álcool combustível no veículo – E100 (tecnologia desenvolvida com base na tradição de uso do combustível no país) e a norte americana permite um conteúdo máximo de 85% de álcool – E85.

No Brasil, em meados de 2003, a tecnologia flex, pioneiramente pela Volkswagen intitulada de Total Flex. Essa tecnologia é um novo conceito em termos de motorização o qual permite a utilização de álcool hidratado, gasolina ou qualquer mistura entre os dois combustíveis. Esse sistema se adapta automática ao combustível fornecido não requerendo qualquer interferência do motorista.

2.12 Sistema de Gerenciamento Flex

A Figura1 apresenta um esquema simplificado do sistema de gerenciamento convencional.

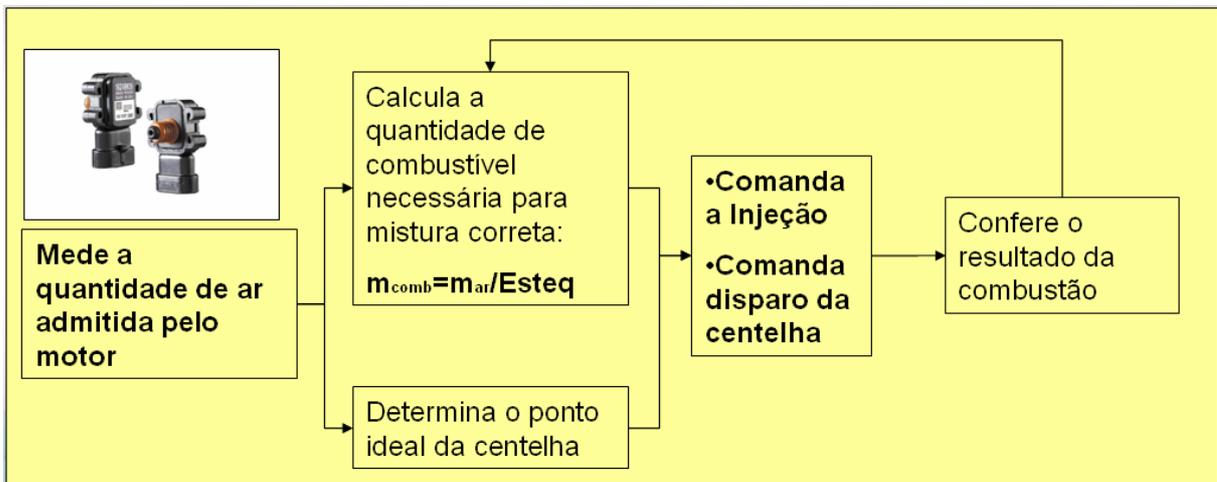


Figura 11: Sistema de gerenciamento convencional (JOSEPH, 2003)

A Figura2 apresenta o esquema simplificado do sistema de gerenciamento totalflex.

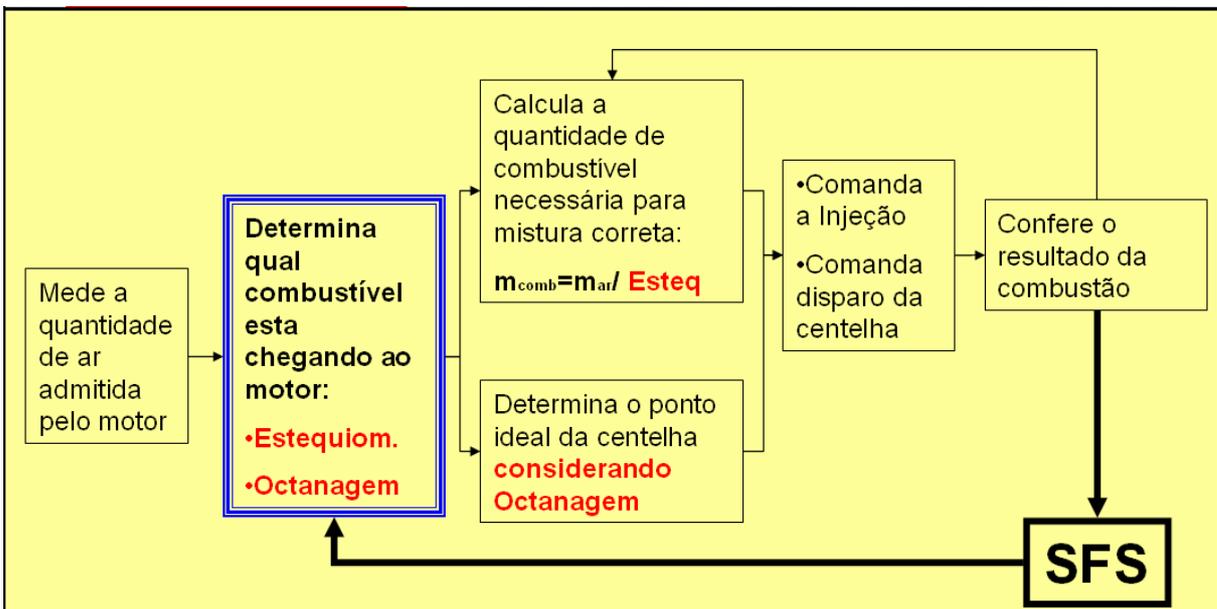


Figura 12: Sistema de gerenciamento Totalflex (JOSEPH, 2003)

Na Figura2 apresenta-se em destaque a sigla SFS (*Software Fuel Sensor*) a qual representa uma rotina computacional responsável pela determinação do combustível que está sendo queimado, para que a central eletrônica adapte os parâmetros do motor. O SFS ou sensor de combustível nada mais é do que a união do sinal da sonda lambda com um software. A sonda lambda fica localizada no interior do cano de escapamento e tem a função de medir a

quantidade de oxigênio presente nos gases de escape, em outras palavras, é o sensor de oxigênio (JOSEPH, 2003). Ver Figura3.

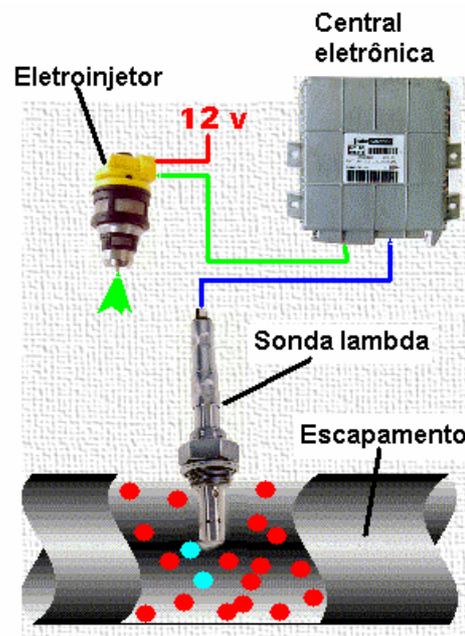


Figura 13: Esquema simplificado da estratégia da sonda lambda

3 ENGENHARIA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO

A aplicação de tecnologia de controle para reduzir os problemas de poluição assume conceitualmente que uma fonte de poluição pode ser reduzida a um nível predeterminado a fim de se adequar a um regulamento ou a um valor mínimo desconhecido. Tecnologia de controle não pode ser aplicada a uma fonte incontrolável, como um vulcão, nem pode ser de forma tal que reduza completamente as emissões (BOUBEL, 1994).

Contudo a engenharia de controle desenvolveu ao longo do tempo e até atualidade diversas tecnologias que buscam controlar o nível de emissão de poluentes das fontes móveis. Antes de comentar essas inovações de controle, é pertinente apresentar os mecanismos de gerenciamento para o correto funcionamento de motores de combustão interna, para em seguida serem apresentadas as principais técnicas e estratégias de controle de poluentes veiculares.

3.1 Mistura Ar/combustível

A base essencial para o controle das emissões de motores de ignição por centelha é o carburador ou sistema de injeção capaz de extrema precisão no fornecimento de combustível em relação ao ar que entra no motor. Atualmente os modernos sistemas de injeção de combustível têm sido desenvolvidos especificamente para uma melhor precisão no fornecimento e economia de combustível, bem como gerar o mínimo de emissão possível.

Para que o MCI funcione corretamente, sem falhas, é necessário que se misture certa quantidade de combustível ao ar que entra no motor. A quantidade de combustível a ser misturado para que se forme uma mistura ideal é de aproximadamente 1 kg de gasolina 14,7 kg de ar. Quando se mistura a quantidade certa de combustível tem-se uma mistura ideal, também chamada de mistura estequiométrica (FIATTECH, 1996).

Porém, para a gasolina brasileira, que contem álcool, deve-se misturar 1 kg de gasolina com 12,5 kg de ar para se obter a mistura ideal. Para os motores a álcool deve-se misturar 1 kg de álcool hidratado com 8,5 kg de ar para se obter uma mistura estequiométrica.

Se a quantidade de combustível for maior que a ideal, a mistura é considerada rica, conseqüentemente a queima do combustível não será completa, provocando um aumento no consumo de combustível e na emissão de poluentes. No caso da quantidade de combustível ser menor que a ideal, a mistura se tornará pobre, e nesse caso o motor perde potência, superaquece e corre risco de detonação.

Para representar a mistura de ar combustível, usa-se a letra grega lambda (λ) e quando a mistura é ideal diz-se que λ é igual a 1. Ou seja, se a mistura está rica, ela tem menos ar que a quantidade ideal, portanto λ é menor que 1 (FIATTECH, 1996).

3.2 Formação e Controle da Mistura

O funcionamento correto de um MCI depende de um sistema que forneça a quantidade de combustível adequada a cada regime de solicitação, garantindo economia de combustível, confiabilidade, bom rendimento e baixos índices de emissões de gases poluentes. Esse sistema é responsável pelo processo de formação da mistura ar/combustível e ao mesmo tempo pelo controle da mesma. Até a década de 80, o sistema responsável por esse processo era basicamente mecânico, sendo o carburador o principal componente encarregado dessa tarefa (FIATTECH, 1996).

3.2.1 O carburador

O carburador é um dispositivo mecânico responsável pela formação da mistura de ar e combustível que será fornecida e queimada pelo motor em seus diversos regimes de funcionamento (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4). O funcionamento do carburador é baseado na mecânica dos fluidos: O ar aspirado pelos pistões passa pelo difusor (uma região onde ocorre um estreitamento da passagem) arrastando consigo uma quantidade de combustível que estava previamente armazenada na cuba (BOSCH apud CÂMARA, 1996).

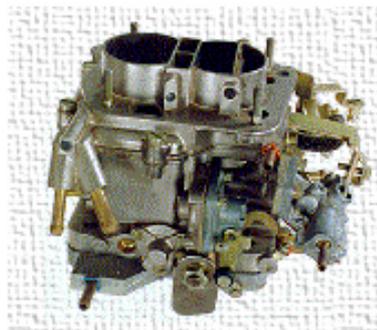


Figura 14: Carburador (FiatTech, 1996)

Ao acionar o acelerador, uma válvula borboleta é movimentada, permitindo maior passagem ao ar atmosférico aspirado pelo motor. Esse artifício define a potência ou o torque que se deseja do propulsor naquele momento.

Muito embora bastante semelhantes no funcionamento e sistemas existentes, os carburadores podem ser convencionais ou com monitoramento eletrônico. Os do último tipo possuem dois dispositivos elétricos que controlam a rotação de marcha lenta e o dispositivo afogador, para partida a frio (HEISLER apud CÂMARA, 2006).

Segundo (TOYOTA apud CÂMARA, 2006), por ser um dispositivo mecânico, o carburador não possui meios de verificar a condição de queima no interior do motor, possuindo apenas ajustes básicos. Essas limitações impedem que atendam às rígidas normas de controle de emissão nacionais e internacionais.

Atualmente, não existem mais automóveis sendo fabricados com esse dispositivo no Brasil, sendo que até motocicletas estão gradativamente substituindo o controle mecânico da mistura ar/combustível pelo controle eletrônico. Atualmente as motocicletas são produzidas e equipadas, por força de legislação, com injeção eletrônica de combustível (PROCONVE, 1998).

3.2.2 A injeção eletrônica de combustível

Nos veículos equipados com carburador, este é responsável pela a mistura de ar/combustível e o distribuidor pelo ponto de ignição. Porém com o tempo esses componentes podem desregular provocando falhas no motor, aumento no consumo de combustível e na emissão de poluentes. Os veículos atuais são equipados com um sistema de injeção e ignição eletrônica o qual é responsável por aquelas duas funções, esse sistema por sua vez não desregula. Nesse sistema a central eletrônica (Figura5) recebe informações de vários sensores (Figura6) para calcular o ponto de ignição e a quantidade de combustível a ser injetada (FIATTECH, 1996).

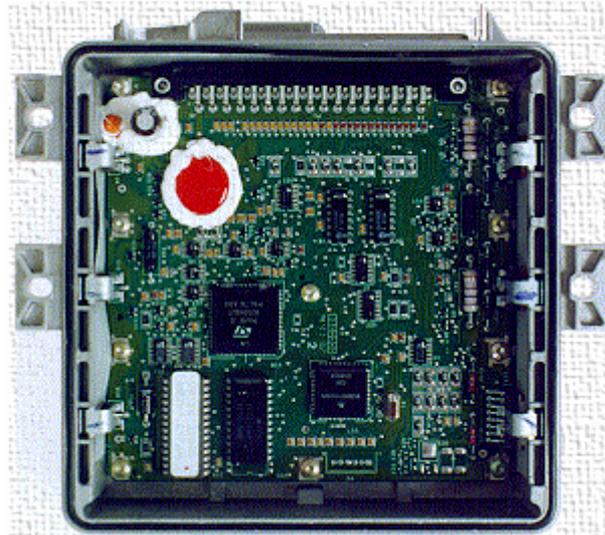


Figura 15: Central eletrônica (FIAT automóveis, 1996)

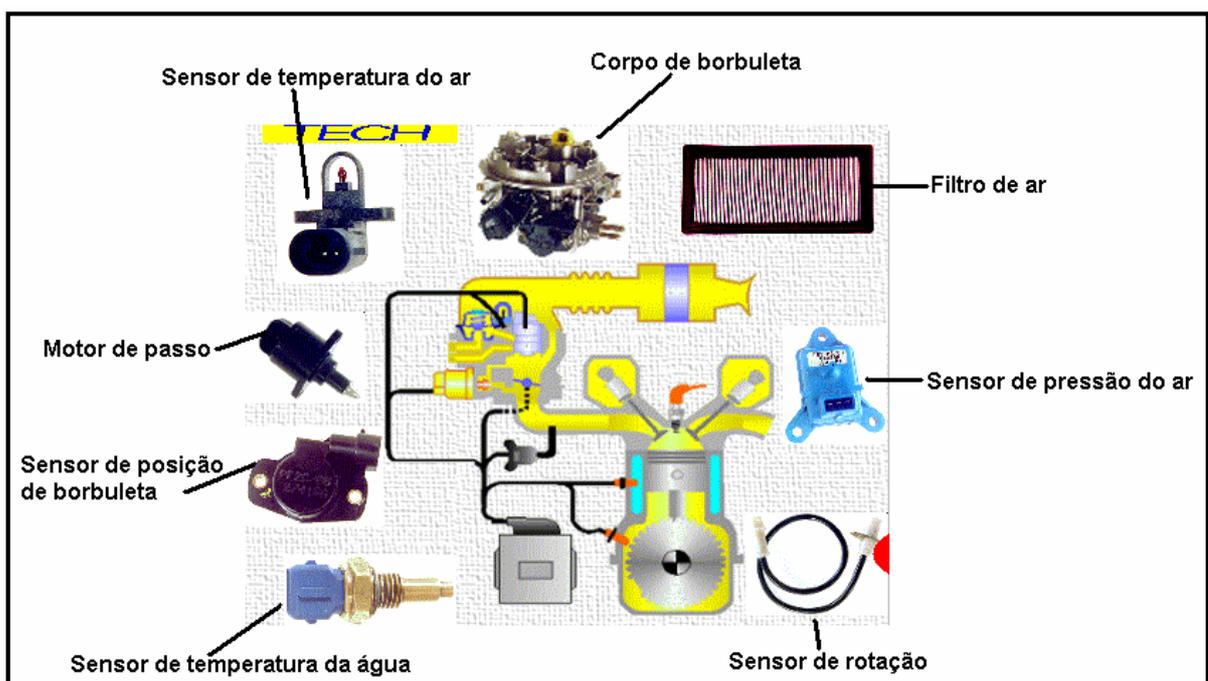


Figura 16: Sensores e atuadores do sistema de injeção e ignição eletrônica

3.2.3 Tipos de injeção eletrônica

No início da era da injeção eletrônica os veículos eram equipados com um sistema monoponto, o qual continha apenas um eletro-injetor para todos os cilindros. No caso do sistema de injeção multiponto, existe um eletroinjetor para cada cilindro, atualmente os veículos são fabricados com esse sistema. Figura7 (FIATTECH, 1996).

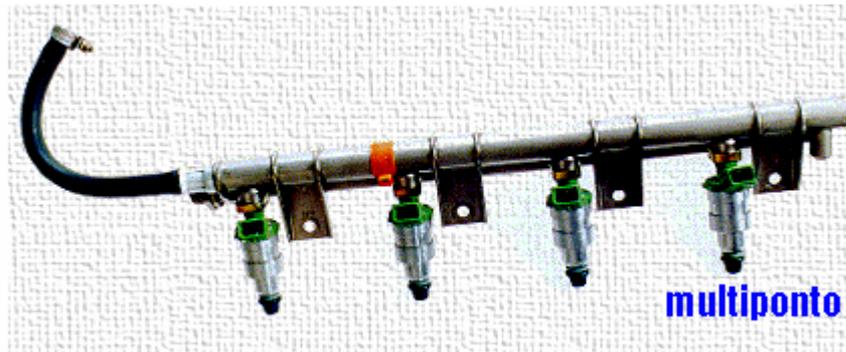


Figura 17: “Flauta” com 4 eletro-injetores de um sistema de injeção eletrônica multiponto

3.3 Controle de Emissões de Poluentes

Os primeiros cuidados contra a poluição atmosférica ocorreram em Los Angeles em 1947. Subseqüentemente, em 1952, Dr Arie J. Haagen-Smit afirmou em uma de suas pesquisas que a poluição localizada era principalmente causada pelas emissões veiculares. (GARRETT, 2001).

Na Combustão completa, para cada 1 kg de hidrocarboneto de combustível, quando completamente queimado produz principalmente 3,1 kg de CO_2 e 1,3 kg de H_2O . A maioria dos gases indesejáveis é produzida em quantidades mínimas (partes por milhão), são estes: Óxidos de nitrogênio, geralmente denominado NO_x , hidrocarboneto não queimados, (HC), monóxido de carbono (CO), gás carbônico (CO_2), sais de chumbo, poliaromáticos, fuligens, cetonas de aldeídos e nitro-oleofinas. (GARRETT, 2001).

Destes, só os três primeiros são produzidos em quantidades significativas. Porém, concentrações podem se tornar maiores com o aumento do crescente número de veículos nas estradas. Ao final dos anos oitenta, a emissão de CO_2 estava começando a causar preocupação, não porque é tóxico, mas porque era suspeito de facilitar a penetração de raios ultravioleta na nossa atmosfera emitidos pelo sol.

Discussões têm surgido acerca dos sais de chumbo, mas nenhuma prova foi encontrada para que, nas quantidades em que eles estão presentes na atmosfera, sejam prejudiciais. Por muitos anos, fabricantes de conversores catalíticos batalharam por um combustível sem chumbo, porque os depósitos de chumbo tornariam rapidamente seus conversores ineficientes.

Monóxido de carbono é tóxico porque é absorvido pelos glóbulos vermelhos do sangue, inibindo absorção do oxigênio necessário a vida. A toxicidade dos hidrocarbonetos

e óxidos de nitrogênio, por outro lado, surge indiretamente como resultado de reações fotoquímicas entre eles e a luz solar, levando à produção de outras substâncias químicas.

Há dois principais óxidos de nitrogênio: O ácido nítrico e dióxido de nitrogênio, NO e NO₂ dos quais o segundo é o de maior significância, considerando seus efeitos tóxicos fotoquímicos. Sob a influência de radiação solar, o NO₂ reage e forma o NO + O, o átomo de oxigênio é altamente reativo que combinado com O₂ forma-se o ozônio O₃. Normalmente, então o O₃ rapidamente se combinaria com o NO para formar NO₂ novamente, mas a presença de hidrocarbonetos inibe esta reação e contribui para o aumento da concentração de ozônio.

O ozônio então permanece de uma maneira complexa, a se combinar com as outras substâncias para formar substâncias químicas que combinadas com a umidade atmosférica, produzem o que foi denominado como uma névoa esfumaçada obnoxia, agora conhecida como fumaça.

Hidrocarbonetos podem vir da evaporação do combustível, bem como da abertura de tanque de gasolina como também devido à combustão ineficiente causada por uma ignição defeituosa, turbulência inadequada, mistura rica.

A preocupação no controle de emissões é dividida basicamente em: Emissões provenientes dos gases de exaustão e emissões evaporativas. As emissões evaporativas se referem às emissões de hidrocarbonetos resultantes da evaporação de combustível não queimado do tanque de combustível e durante a operação do motor. Ao contrário das emissões da exaustão ou escapamento, as emissões evaporativas podem ocorrer quando o veículo não está em operação. (GARRETT, 2001).

3.3.1 Controle das emissões do escapamento

Para reduzir a emissão de poluentes o motor deve sempre trabalhar com a mistura ideal, a chamada estequiométrica. Para manter a mistura ideal a sonda lambda mede a quantidade de oxigênio presente nos gases do escapamento e manda um sinal para central eletrônica, assim a central fica sabendo se a mistura está rica ou pobre e altera a quantidade de combustível injetada para manter a mistura ideal. Isso ocorre da seguinte forma: Quando a sonda lambda está ativa, a mesma gera uma voltagem próxima de 0 volt para misturas pobres e próxima de 1 volt para misturas ricas, bem como apresentado na Figura8. (FIATTECH, 1996).

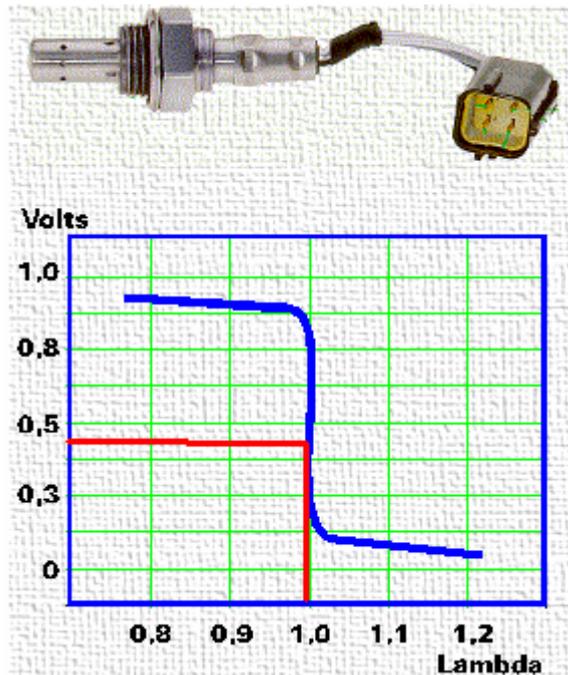


Figura 18: Gráfico do sinal de voltagem da sonda lambda

3.3.2 Controle das emissões evaporativas

O sistema anti-evaporativo de combustível (Figura19) serve para impedir que os vapores de combustível do tanque cheguem à atmosfera e poluam o ar. Os vapores de gasolina formados no tanque passam pela válvula plurifuncional e esta permite a passagem dos vapores, mas impede a passagem do combustível líquido quando o tanque de combustível está cheio ou em caso de capotamento. À medida que a gasolina evapora a pressão dentro do tanque tende a aumentar quando ela atinge um valor suficiente alto a válvula de ventilação se abre e o vapor de gasolina segue para o canister. Quando o vapor de gasolina chega ao canister, que é um filtro de carvão ativado, os vapores ficam retidos e somente ar puro é lançado na atmosfera. Se o motor estiver funcionando em regime acelerado e o valor de lambda for maior que 1 a eletroválvula do canister se abre, então os vapores de gasolina vão para o corpo de borboleta e são queimados no motor. Por medida de segurança existe uma válvula que lança os vapores de gasolina diretamente na atmosfera se a pressão no tanque ultrapassar o valor normal, esta válvula de segurança é unidirecional, portanto ela não permite a entrada de ar. Com o motor funcionando, à medida que a gasolina é bombeada vai se formando vácuo no tanque, então o ar da atmosfera entra pelo canister passa pela válvula de ventilação, pela válvula plurifuncional e segue em direção ao tanque. (FIATTECH, 1996).

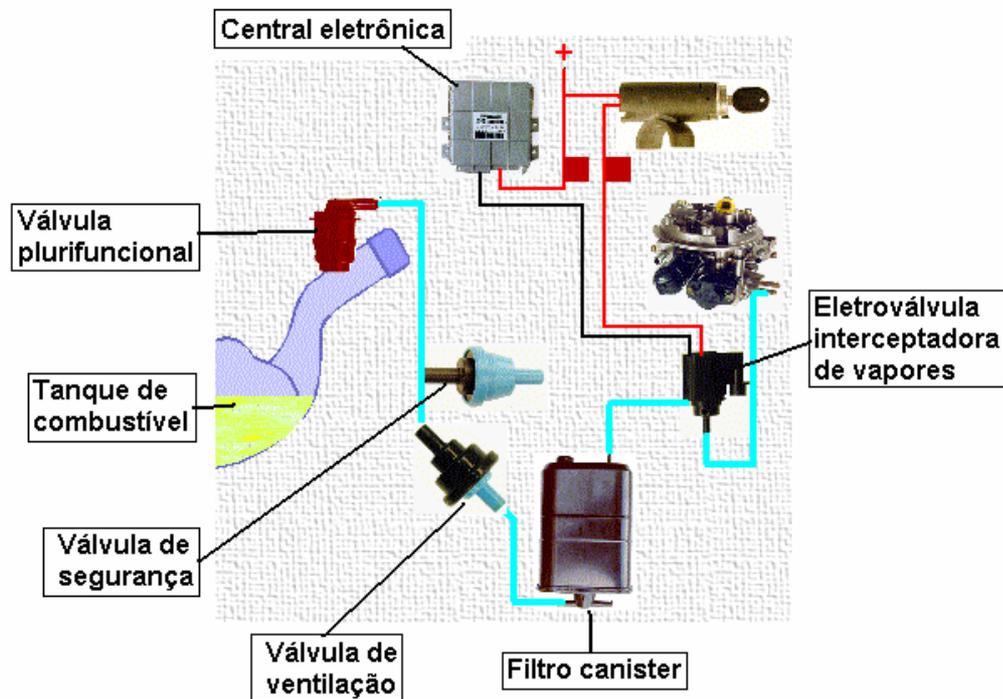


Figura 19: Componentes do sistema anti- evaporativo

3.3.3 Conversor catalítico de duas vias

Uma das medidas preventivas para controlar as emissões veiculares é a utilização de conversores catalíticos, o popular catalisador. Em meados da década de 70 a GM, nos Estados Unidos, concluiu que para satisfazer certas exigências do departamento ambiental americano e melhorar simultaneamente não só a economia mas também a dirigibilidade dos veículos, deveria reduzir as emissões através de modificações do motor. Uma delas foi a utilização de conversores catalíticos de duas vias. O termo conversor catalítico de duas vias advém da oxidação dos dois gases da exaustão, o HC e CO, para formar CO_2 e H_2O . Tal conversor conseqüentemente contém apenas catalisadores² de oxidação então, além disso, sem oxigênio nos gases da exaustão o conversor não pode funcionar. (GARRETT, 2001).

O conversor catalítico de duas vias é constituído de um recipiente, normalmente de aço inoxidável, e os suportes do mesmo são revestidos por um isolante térmico de alumínio. Figura0.

² Catalisadores – Na verdade os metais nobres que são depositados no conversor catalítico são os agentes catalisadores da reação de oxidação

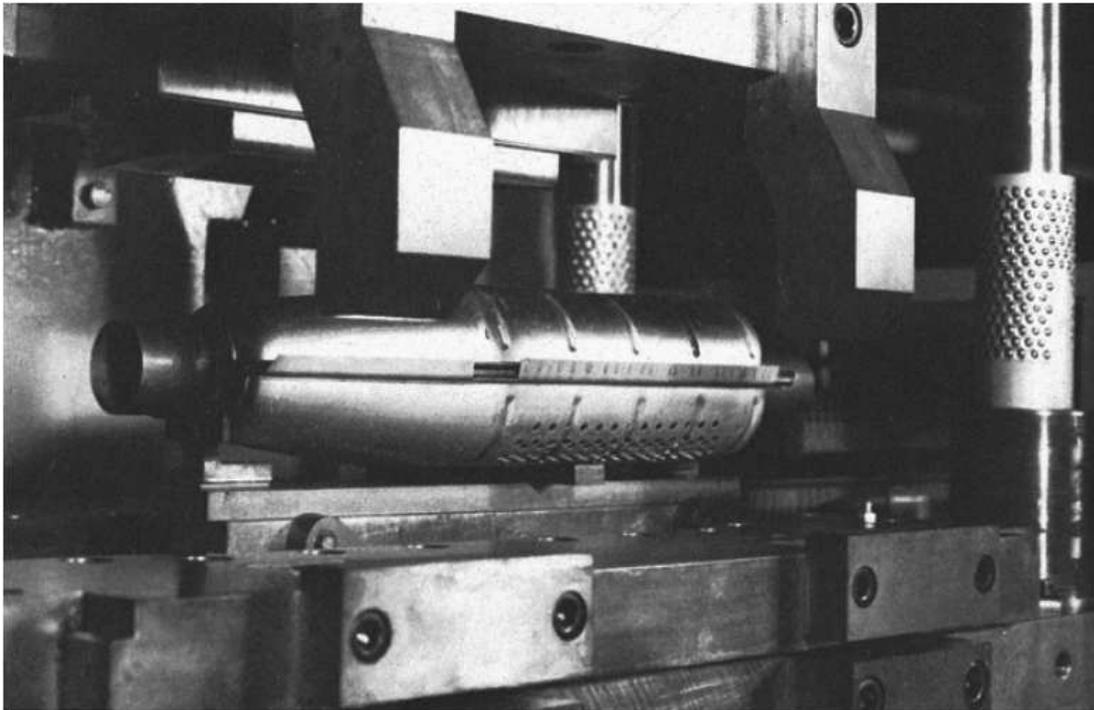


Figura 20: Conversor catalítico de duas vias em aço inoxidável

A platina (Pt) e paládio (Pd) são usados como catalisadores. O custo deste conteúdo de metal nobre é da ordem de 15 a 20 vezes o custo do aço inoxidável empregado na fabricação deles. Então outros catalisadores tal como cobre e cromo foram experimentados, com pouco sucesso, não sendo usado em geral porque eles são propensos à deterioração devido ao ataque do ácido sulfúrico formado pela combustão de impurezas no combustível (GARRETT, 2001).

Um conversor de duas vias típico para um carro americano contém aproximadamente 1,6 g de metais nobres na proporção Pt:Pd de 5 para 2. Foi dedicado um esforço considerável no desenvolvimento do catalisador monolítico o qual tinha uma estrutura em forma de colméia em material cerâmico em uma peça única tendo uma grande superfície onde eram depositados os metais nobres. As vias de fluxo de gás eram bem definidas e a sua massa era menor que do tipo de circular, esquentando mais rapidamente para atingir uma temperatura de funcionamento por volta de 550°C. Em algumas aplicações, por comodidade do fabricante dois conversores monolíticos eram montados em série em uma única câmara.

Geralmente, catalisadores cerâmicos monólitos não são totalmente eficazes até que atinjam uma temperatura de aproximadamente 350°C (Figura 1), e tem a sua eficiência máxima quando atingem uma temperatura de 450°C. Em média, dois terços de todos os carros empreendem pequenas viagens em torno de aproximadamente 8 km de distância. Realmente, em viagens curtas, até 80% do total de emissões são produzidas nos dois primeiros minutos de

funcionamento do motor, e a situação torna-se pior em climas frios e em condições urbanas (GARRETT, 2001).

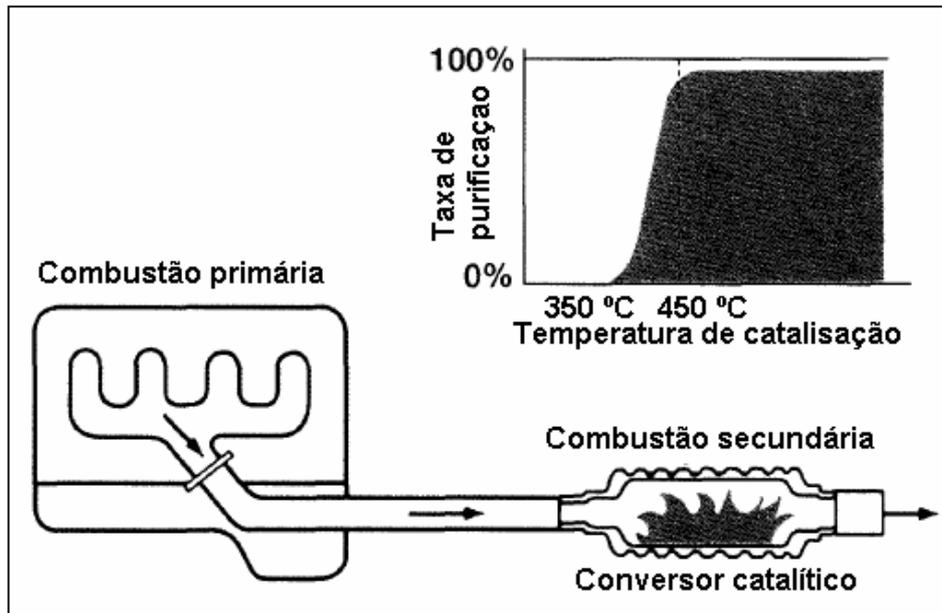


Figura 21: Gráfico da eficiência do conversor catalítico

3.3.4 Conversor catalítico de três vias

O termo conversor de três estágios se deve ao fato de ocorrer a conversão de um terceiro componente, isto é o NO_x . Considerando que conversão de duas vias é executada em uma única fase, conversão de três vias exige duas fases. Em 1980 tornou-se necessário satisfazer as exigências no controle de NO_x na Califórnia, e a partir de 1981, no resto do EUA. No Brasil, desde 1992, por força de legislação todo veículo é produzido com catalisador de três vias (GARRETT, 2001).

A camada catalítica adicional contém Ródio (Rh) para redução dos óxidos de nitrogênio. O resultado disso foi o aumento de aproximadamente 3 g no conteúdo total de metais nobres. Na prática, com uma mistura rica de 0.1%, aproximadamente 95% do NO_x pode ser removido por esse conversor catalítico. Uma atmosfera redutora é essencial para que a mistura não deva ser pobre, e então a conversão de NO_x tem que preceder a oxidação do HC e do CO (GARRETT, 2001).

Após a liberação de oxigênio no processo de redução inicial, na camada de Rh, imediatamente, começa a segunda fase do processo global enquanto os gases da exaustão ainda estão na primeira fase. O oxigênio que permanece sem uso então passa a entrar em

contato com o Pt ou Pt-Pt na segunda via do conversor, em um alojamento separado a jusante (antes) do primeiro. Esta via é provida de ar extra para conclusão da oxidação. Figura 2.

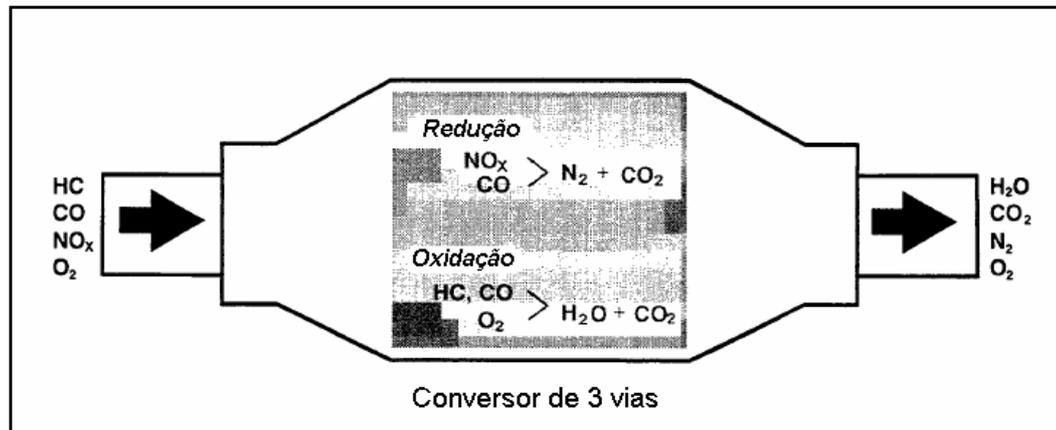


Figura 22: Processo de conversão com três vias

Com conversão de três vias, é essencial um sistema de controle de malha fechada, para regulagem da alimentação de combustível, mas precisa em relação ao fluxo de ar no motor. Isto requer a instalação de um sensor de oxigênio³ na saída dos gases da exaustão, e um microprocessador embarcado para exercer o controle, ambos com a função de corrigir continuamente as variações da relação ar/combustível, tentando manter uma mistura estequiométrica e assegurar uma boa dirigibilidade (GARRETT, 2001).

3.4 Conversores Cerâmicos e Metálicos

Recentes estudos revisaram o estado da arte atual do processo de conversão catalítica dos gases da exaustão de automóveis, enfatizando um pouco de perspectivas para melhorias adicionais. Atualmente, os conversores catalíticos de três vias (*Three Way Catalytic*) usados em veículos podem reduzir as emissões de CO, HC e NO_x em aproximadamente 95% desde que haja um bom gerenciamento eletrônico do motor e temperaturas operacionais adequadas. Porém, as condições operacionais do conversor catalítico variam extremamente com o modo de condução do veículo. Na realidade, a eficiência de conversão dos conversores catalíticos é fortemente afetada pelas condições operacionais do veículo o que gera variações nas concentrações dos poluentes, temperatura e taxa de fluxo de massa no catalisador (COSTA; SANTOS, 2007).

³ Sensor de oxigênio – Conhecido como sonda lambda, fica localizado no interior do cano de escapamento e tem a função de medir a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape.

A propósito, a conversão depende do tipo de catalisador usado, seu tamanho e seu local de instalação. Com respeito ao tipo de catalisador, os dois tipos mais comuns disponíveis no mercado são: Os com substrato cerâmico e metálico. No momento, o monólito é uma opção comum para a maioria das aplicações ambientais onde são requeridas taxas de fluxo altas e baixa pressão. Apesar de monólitos cerâmicos extrudados serem amplamente usados como material de substrato, principalmente por causa de seu relativo baixo custo industrial, substratos com folhas de monólito metálico estão sendo mais utilizados. Ambos os substratos têm relativamente baixa porosidade que os faz inadequado como um suporte de catalisador. Para superar isto, uma camada fina de um material poroso, é aplicada às paredes dos canais (COSTA; SANTOS, 2007).

A Figura3 mostra os resultados obtidos por COSTA e SANTOS (2007) em experimentos que avaliam as conversões catalíticas de HC, CO e NO_x na condição sem carga (no motor) para ambos os catalisadores (TWC-M e TWC-C⁴).

Catalyst	Conversion efficiency (%)		
	HC	CO	NO _x
TWC-M (metallic three way catalyst)	45.62	33.52	47.32
TWC-C (ceramic three way catalyst)	31.58	32.08	43.33

Figura 23: Eficiência de conversão para os catalisadores de três vias

Além disso, a conversão de HC aparenta ser a mais sensível à velocidade espacial. A Figura4 revela que, até velocidades espaciais⁵ de 70 kh⁻¹, a conversão de HC aumenta com a velocidade espacial (COSTA; SANTOS, 2007).

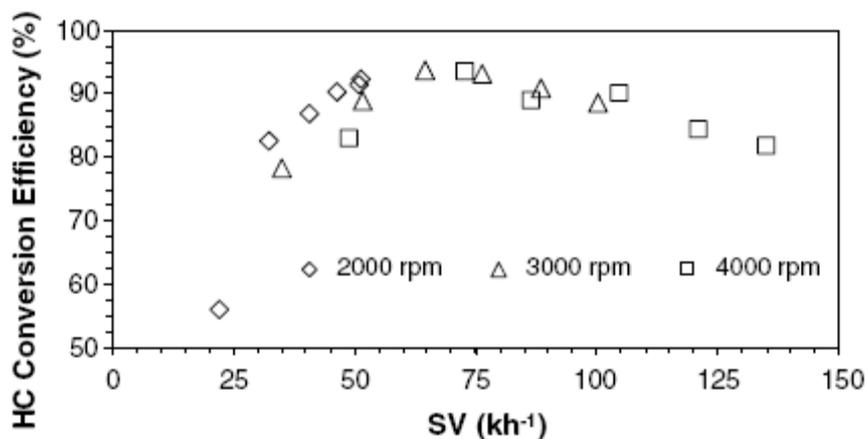


Figura 24: Conversão de HC para o TWC-M em função da velocidade espacial

⁴ TWC - *Three Way Catalytic*, ou Conversor Catalítico de Três Vias. O “M” e o “C” correspondem a metálico e cerâmico

⁵ Velocidade Espacial (Vazão total dos gases / volume do conversor catalítico) medida em 1000/h ou k.h⁻¹

A temperatura do substrato em baixas velocidades espaciais também é baixa e, portanto não garante a reação efetiva de oxidação do HC em pouco tempo. Como consequência, a baixas velocidades espaciais, a conversão de HC é limitada cineticamente. A Figura4 mostra que para o TWC-M, a conversão de HC alcança um máximo em velocidades espaciais ao torno 70 kh^{-1} , acima disso a eficiência de conversão é reduzida (COSTA; SANTOS, 2007).

Em geral, a conversão de HC para pequenas velocidades espaciais é cinematicamente controlada, enquanto que para altas velocidades espaciais, a limitação é em virtude da transferência de massa; ambas as limitações são menos evidentes para a conversão de CO e insignificante para a conversão de NO_x (COSTA; SANTOS, 2007).

3.5 Conversão Catalítica e Emissões para Mistura Metanol-gasolina

Um estudo realizado na China, TIEGANG (2007) avaliou as emissões gasosas regulamentadas nesse país - CO, HC e NO_x a partir da exaustão de um motor alimentado com a mistura metanol-gasolina. Segundo TIEGANG (2007), quando o metanol é adicionado à gasolina, a mistura de combustível contém mais oxigênio o que reduz as emissões de CO e HC. Também, quando o motor utiliza a mistura de combustível as emissões de CO e HC, após o TWC, são melhores do que operando com gasolina pura. O efeito na emissão de NO_x é insignificante, tanto antes como após o TWC, o que implica dizer que o metanol usado em motores IC pode reduzir as emissões de HC e CO Na Figura5 são apresentados dados experimentais das emissões do motor a 2500 rpm de forma constante.

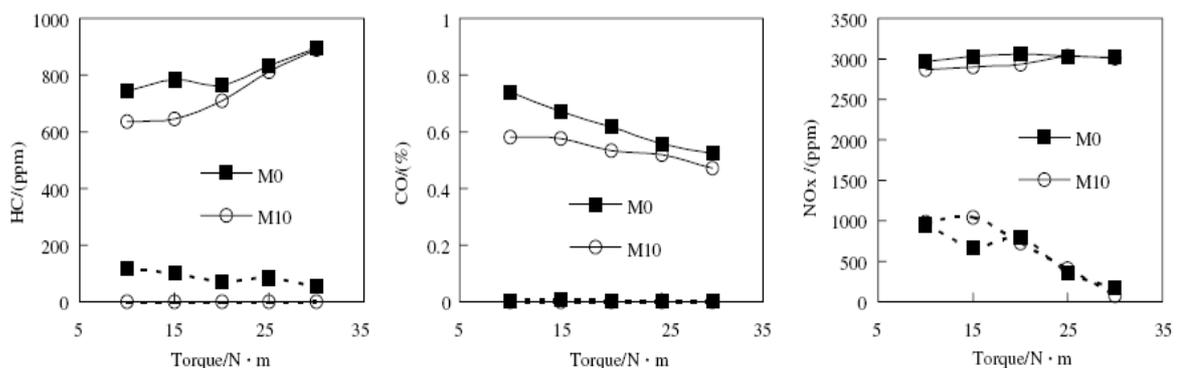


Figura 25: Emissões regulamentadas para o motor a 2500 rpm (em cima para pré TWC e em baixo para pós TWC)

A Figura 26 indica que a emissão de metanol aumenta com o aumento de carga no motor sob diferentes rotações, porém, conteúdos de metanol em misturas⁶ de combustível têm nenhum efeito significativo na emissão dentro da faixa do experimento.

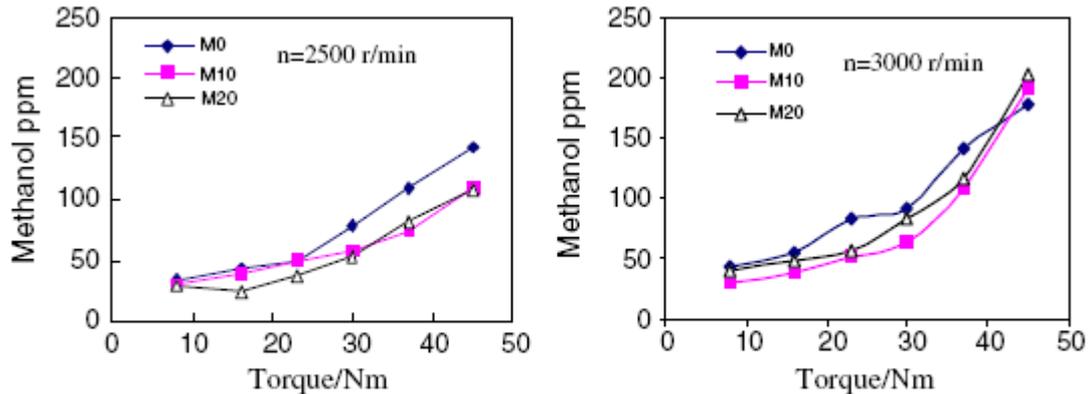


Figura 26: Comparação das emissões de metanol para o motor sob diferentes cargas

Em média, emissões de formaldeído crescem com: quantidade de metanol, rotação do motor e a carga como apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada**.⁷ A emissão de formaldeído a partir de M20 é aproximadamente 10 vezes maior da gasolina; porém, a concentração total ainda está abaixo de 200 ppm. Com TWC, podem ser oxidados metanol e formaldeído efetivamente. Dentro da gama de calibração, formaldeído não pode ser medido (TIEGANG, 2007).

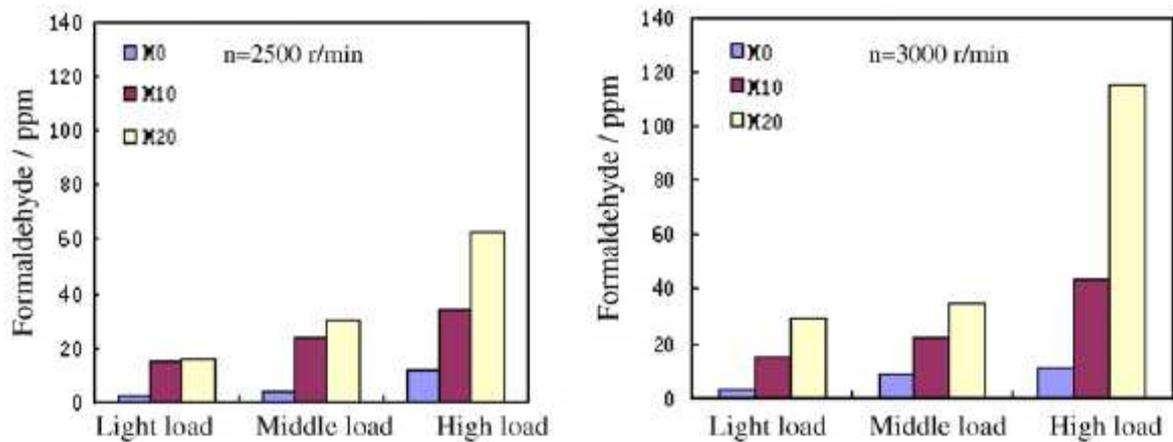


Figura 27: Comparação das emissões de formaldeído para o motor sob diferentes cargas

Comparando os dados apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada**.²⁸, a análise mostra que TWC comercial pode converter formaldeído suficientemente. O metanol não queimado e o formaldeído foram medidos e são denominados

⁶ Misturas – Diferentes misturas de metanol/gasolina foram preparadas contendo 0%, 10%, 20% de metanol em volume, sendo nomeadas de M0, M10 e M20

de emissões não regulamentadas. Formaldeído e metanol foram medidos por meio de cromatografia de gás. A coluna é do tipo polietileno glicol (PEG) com detector de ionização de chama (TIEGANG, 2007).

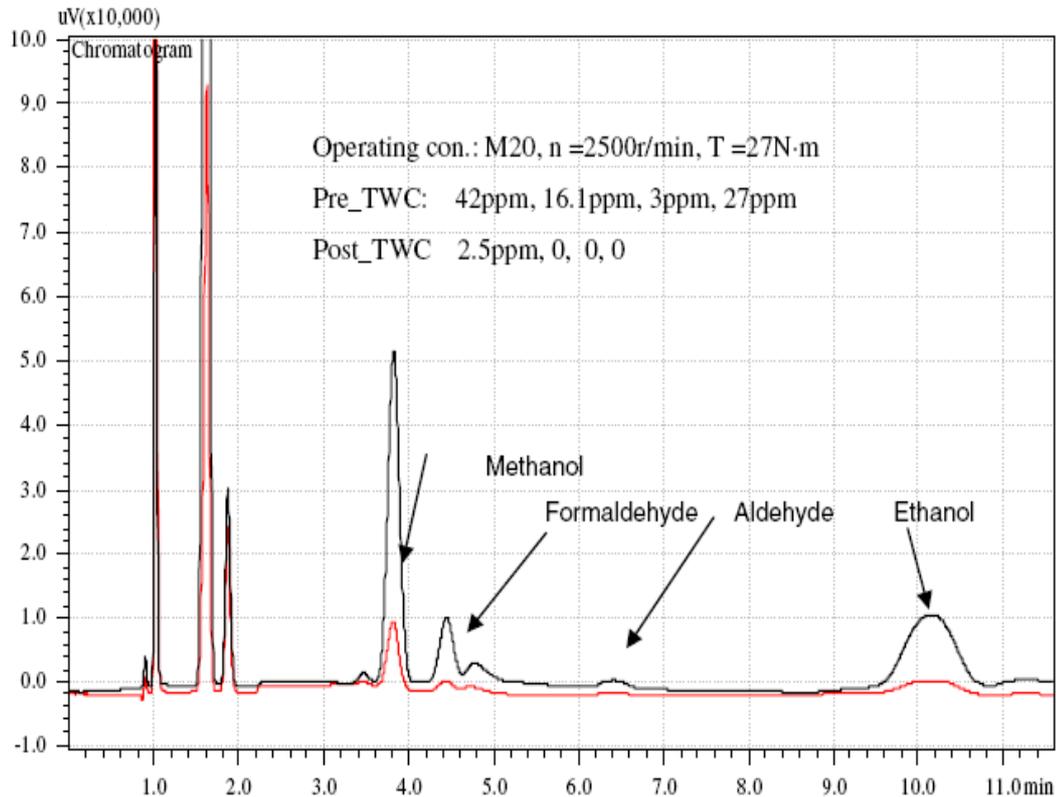


Figura 28: Emissões não regulamentadas antes e depois do TWC

Em suma TIEGANG (2007) conclui que uma mistura com baixa percentagem de metanol na gasolina pode ser usada em motores SI sem qualquer modificação. A mistura de combustível abaixou ligeiramente a potência e o torque do motor, enquanto a eficiência térmica de frenagem aumentou. Para melhor operação é necessário aperfeiçoar o ponto de ignição. A mistura metanol/gasolina pode abaixar as emissões de CO e HC, mas sem efeito comprovado na eficiência de conversão no TWC. Porém, o aumento de metanol aumenta as emissões de formaldeído e a emissão de metanol cresce com o aumento de carga no motor sob diferentes velocidades. Portanto as emissões de CO, HC, metanol e formaldeído podem ser convertidos efetivamente por TWC convencional.

3.6 Durabilidade do Conversor Catalítico

Apesar de ser um importante componente do veículo, a peça é esquecida por grande parte dos motoristas. E não é para menos, pois o produto tem vida útil longa e não

exige qualquer manutenção. O equipamento pode ter sua carcaça danificada por impactos, afetando sua estrutura física, podendo causar sua perda total. Situações de má conservação do carro ou o abastecimento com combustível adulterado comprometem a durabilidade da eficiência na conversão de gases, estimada em 80 mil quilômetros. Além disso, a peça perde a garantia de fábrica, explica BLUMRICH (2005).

Apesar de dispensar manutenção periódica, o catalisador exige alguns cuidados referentes à conduta do motorista. Segundo BOIM (200?) tentar dar partida no motor empurrando o veículo ou insistir excessivamente com a ignição pode estragar a peça, pois há o risco de enviar gasolina para o catalisador antes de ser queimada, podendo danificá-lo. Andar com o carro quase sem combustível também pode prejudicar o funcionamento do catalisador. Além disso, deve-se evitar batidas no assoalho, principalmente em lombadas, uma vez que os impactos podem rachar a peça e danificar a colméia. A sonda lambda também pode ser afetada, caso o catalisador não esteja funcionando normalmente. Outra recomendação pouco lembrada pelos motoristas é a de evitar estacionar sobre mato, folhas secas ou qualquer outro material de fácil combustão, pois quando o motor está em movimento o catalisador pode atingir temperaturas acima de 500°C e isso pode provocar incêndio no automóvel. O prazo para troca do catalisador depende da marca do veículo, mas geralmente é de cinco anos ou 80 mil quilômetros, o que ocorrer primeiro.

3.7 Conversão Catalítica e o GNV

O catalisador de três vias (TWC) desempenha um papel fundamental na redução de gases tóxicos provenientes da exaustão de motores com ignição a centelha. Embora comprovada eficiência dos TWC's, até mesmo depois de alta quilometragem, os padrões de emissão cada vez mais rigorosos, alto custo de metais preciosos e a introdução de novos combustíveis (por exemplo, CNG; mais de 90% de metano⁷) vêm gerando novas discussões. Veículos abastecidos com Gás natural comprimido têm, pelo menos na Europa, popularidade crescente. O CNG tem disponibilidade alta, baixo preço e, em comparação à gasolina, ele produz quantidades menores de gás carbônico e outros poluentes por unidade de potência gerada. Por outro lado, o metano (CH₄) - principal componente do CNG - é um gás estufa muito mais potente que gás carbônico, e o CH₄ não queimado é, quando comparado com veículos movidos a gasolina, o principal hidrocarboneto gerado pelos gases da exaustão

⁷ WINKLER, Catalytic activity and aging phenomena of three-way catalysts in a compressed natural gas/gasoline powered passenger car.2008

de motores a CNG. Isto constitui um problema com respeito ao cumprimento das emissões padrões de HC, já que o metano também é um dos hidrocarbonetos mais difíceis para se oxidar cataliticamente. Além, do fato das temperaturas dos gases de exaustão de motores a CNG serem mais baixas em comparação a veículos a gasolina, desfavorecendo mais adiante a conversão catalítica (WINKLER, 2008).

3.7.1 Atividade catalítica e o GNV

As medidas das emissões mostram um aumento forte de THC (Total de hidrocarbonetos) a partir de uma quilometragem relativamente curta de 35.000 km quando o motor está operando com CNG. Este aumento é praticamente o mesmo independente do circuito de condução. Na Figura 29, a emissão de THC é plotada para um *Common Artemis Driving Cycle* (CADC⁸) - condição padrão europeu para testes de emissão - com as respectivas quilometragens. O CADC foi executado em geral três vezes com CNG e também três vezes com gasolina em todas as quilometragens. É notável o fato de que houve apenas um aumento inexpressivo das emissões de THC quando o motor operou com gasolina, enquanto que ocorreu um aumento considerável na operação com CNG (WINKLER, 2008).

⁸ CADC - *Common Artemis Driving Cycle*, ou Circuito de condução Comum Artemis

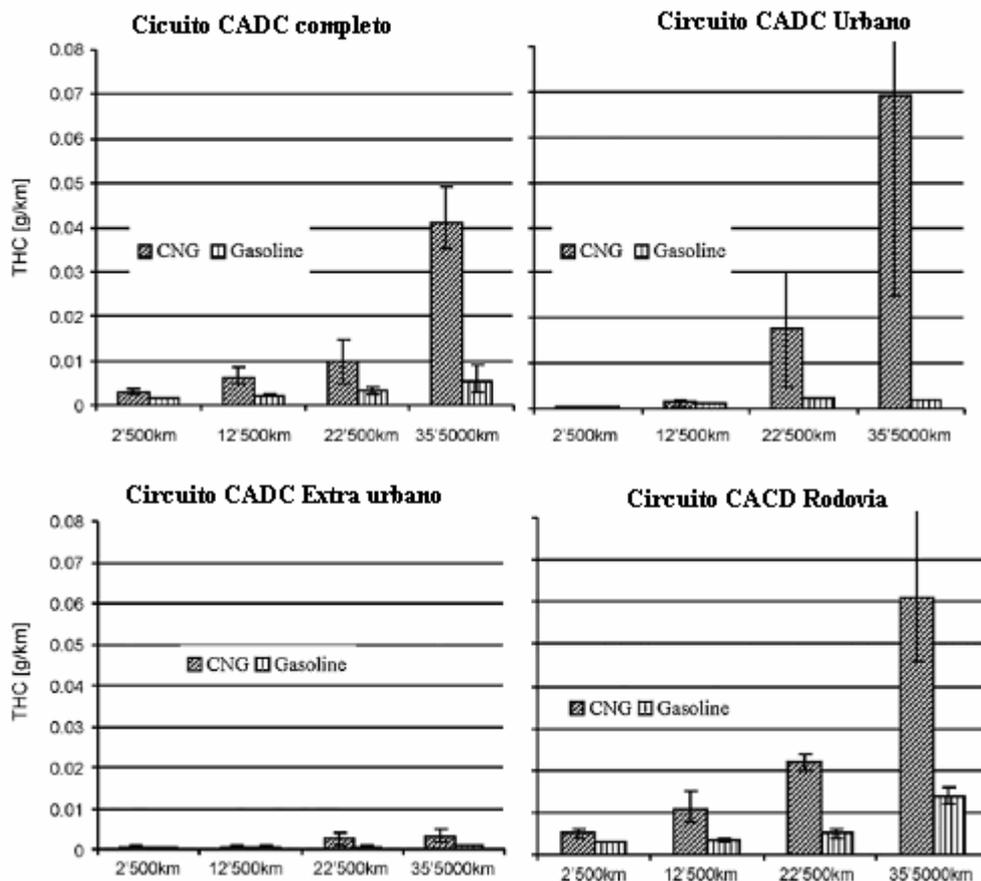


Figura 29: Média das emissões de THC (medidas após catalisador) até 35.000 km em um circuito CADC.

É mostrado o aumento relativo das emissões de THC na Figura 0, na qual as emissões de THC obtidas ao longo de um circuito *Extra Urban Driving Cycle* (EUDC) são comparadas. Mais uma vez a elevação das emissões de THC durante a operação do motor com CNG é extremamente alta, enquanto muito modesto durante operação com gasolina. É interessante notar que até 22 500 km a emissão de THC no caso de CNG é multiplicada por um fator de 2,2 que sugere uma deficiência de conversão de THC a partir de emissões oriundas do CNG (WINKLER, 2008).

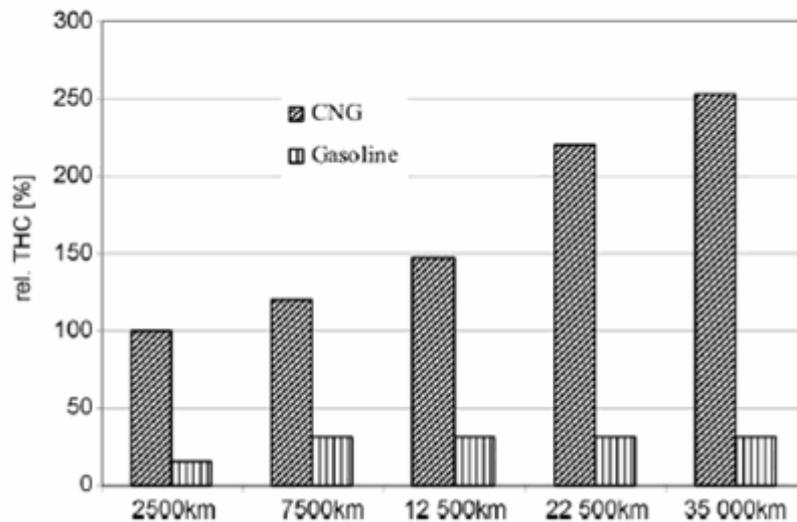


Figura 30: Emissão relativa de THC (medidas após catalisador) até 35.000 km em um circuito EUDC

Embora as emissões totais de CO e NO_x a uma determinada quilometragem variem dependendo do combustível usado, ambos CNG e gasolina resultam no dobro de emissões de CO e NO_x depois de 35000 km (Figura1). A emissão de THC também é o dobro no caso de gasolina, e para CNG a emissão de THC é aumentada em torno de oito vezes. (WINKLER, 2008).

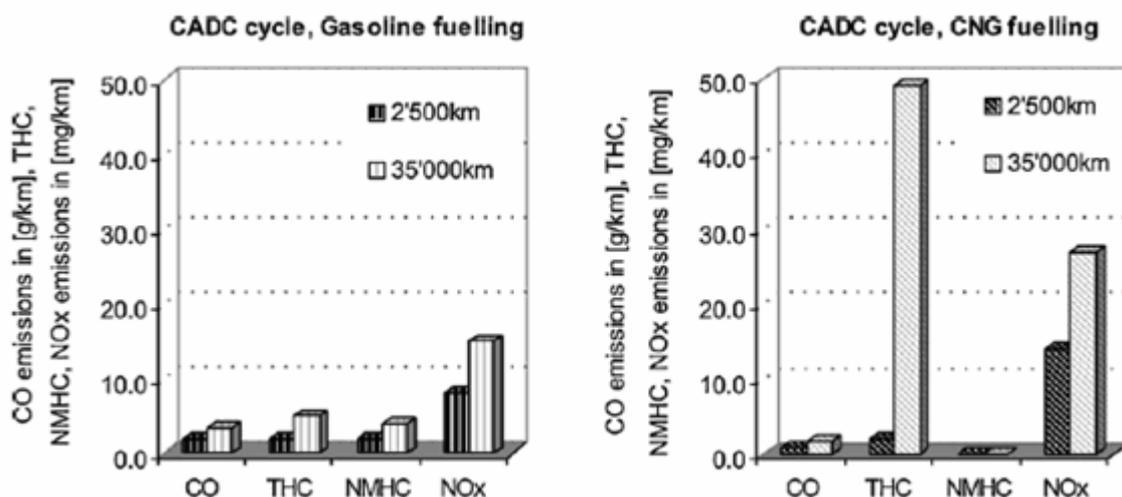


Figura 31: Emissões de CO, NO_x, THC e NMHC para um circuito CADC completo para gasolina (esquerda) e GNC (direita) após 2.500 km e 35.000 km

A Figura1 ainda mostra as emissões de *Non Methane HydroCarbons* (NMHC) para o CADC completo ambos para gasolina (esquerda) e GNC (direita) depois de 2500 km e 35000 km. No caso da gasolina, o total das emissões de NMHC é quase idêntico ao das emissões de THC, mostrando que a fração de metano é apenas secundária. Quando o CNG é

usado, a fração de NMHC é praticamente zero, indicando que as emissões de THC quase exclusivamente se compõem de metano.

Em síntese WINKLER (2008) conclui que um aumento significativo nas emissões de THC foi constatado a partir de 35000 km em um veículo bicomustível quando operou com CNG. Para o mesmo veículo, motor, e catalisador não houve qualquer mudança significativa de emissão durante operação com gasolina.

3.8 Recirculação de Gases do Escapamento

Responsável pelo controle do fluxo dos gases produzidos pela combustão da mistura dentro dos cilindros do motor, a válvula EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) ajuda a controlar e reduzir a emissão de poluentes. Figura2.

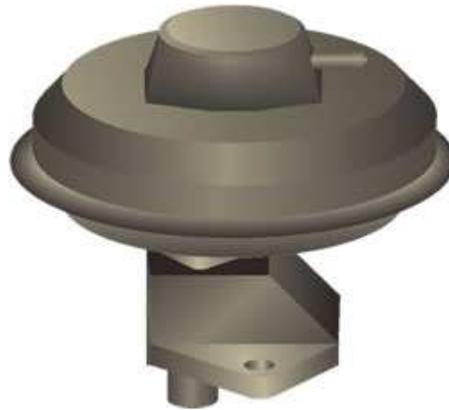


Figura 32: Válvula EGR (*Exhaust Gas Recirculation*)

Basicamente, os três mais importantes poluentes produzidos por um motor de combustão interna são, em ordem de importância, o Monóxido de Carbono (CO), os Hidrocarbonetos (HC), e os Óxidos de Nitrogênio (NO_x). Falando especificamente sobre os Óxidos de Nitrogênio, eles são formados quando a temperatura da câmara de combustão atinge níveis mais elevados, seja pelo empobrecimento gradual da mistura, devido ao aquecimento do motor, seja por condições de trabalho mais críticas; e neste caso, devem ser controlados para se manterem dentro dos limites de emissões definidos por lei.

A fim de reduzir a formação destes óxidos, os gases de escapamento são desviados até o sistema de admissão, através de uma tubulação existente no coletor de escapamento do veículo, para que possam ser aspirados e ocupar um espaço dentro da câmara de combustão usualmente destinado à mistura ar/combustível.

Os gases de escape são formados por uma mistura já queimada e, portanto, não são mais combustíveis. Todavia, se ocuparem um espaço dentro da câmara, irão limitar a

queima da mistura ar/combustível, diminuindo, conseqüentemente sua temperatura. Ao reduzir a temperatura, automaticamente será reduzido o nível de formação dos Óxidos de Nitrogênio produzidos pelo motor.

É óbvio que a admissão destes gases na câmara, ocupando o lugar destinado à mistura ar/combustível, reduzirá a potência disponível gerada pelo motor e, portanto, este processo deve ser controlado criteriosamente, com a finalidade de não prejudicar o desempenho do veículo em determinados regimes de funcionamento.

É aí que entra em cena a válvula EGR (*Exhaust Gas Recirculation* ou Válvula de Recirculação dos Gases de Escape), que controla o fluxo e o momento em que estes gases devem ser admitidos na câmara de combustão. A válvula EGR abre pela ação do vácuo do coletor de admissão, por um lado, e pela ação da pressão dos gases de escape, pelo outro, permitindo que os gases de escapamento fluam para o interior do coletor de admissão. Os gases de escapamento seguem com a mistura ar/combustível para a câmara de combustão. Se houver um excesso de gases de escapamento admitidos, não ocorrerá combustão, ou haverá falha de combustão. Por isso, apenas uma quantidade controlada de gás passa pela válvula, que deverá estar totalmente fechada na marcha lenta (NAPOLETANO, 200?).

No regime de marcha lenta não deverá haver admissão de gases de escape no coletor de admissão, pois não há geração de NO_x nestas condições, sem mencionar o fato de que na marcha lenta, pela baixa quantidade de combustões nos cilindros, haverá irregularidade em seu funcionamento, oscilações e até mesmo apagamento do motor em casos extremos (NAPOLETANO, 200?).

A válvula EGR possui uma câmara com um diafragma, que abre a sede da válvula pela ação de pressão positiva proveniente do escape e/ou vácuo originado do coletor de admissão, interligando os dois coletores (Figura3). Por isso, geralmente sua localização está próxima aos coletores ou a alguma tubulação que os interliga. Nos sistemas mais avançados de gerenciamento eletrônico, as funções desta válvula são controladas pelo Módulo de Controle Eletrônico (Central eletrônica), que se utiliza de atuadores para determinar o momento e o tempo em que ela deve operar, sendo sua real atuação monitorada por um potenciômetro presente na própria válvula (NAPOLETANO, 200?).

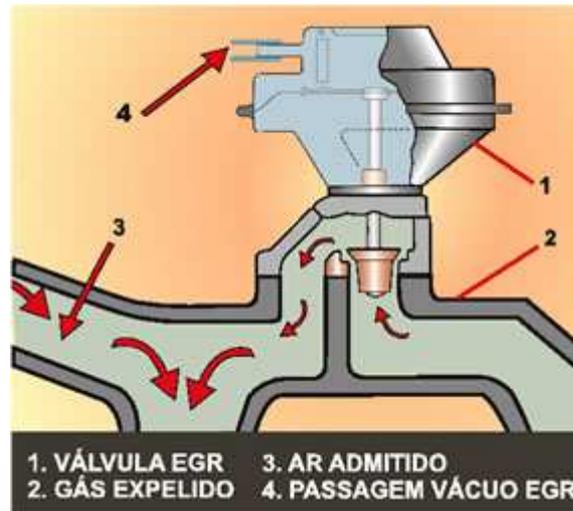


Figura 33: Acionamento da válvula EGR

A válvula EGR abre atendendo à uma das seguintes condições:

- • Motor Aquecido;
- • Rotação do motor superior à da marcha lenta (Figura4);
- • Condições diversas de aceleração e desaceleração do veículo.

A quantidade dos gases de escape admitidos na câmara e o tempo que a válvula permanece aberta dependerão das variações no vácuo e na pressão dos gases de escapamento, de acordo com o regime de funcionamento do motor (NAPOLETANO, 200?).

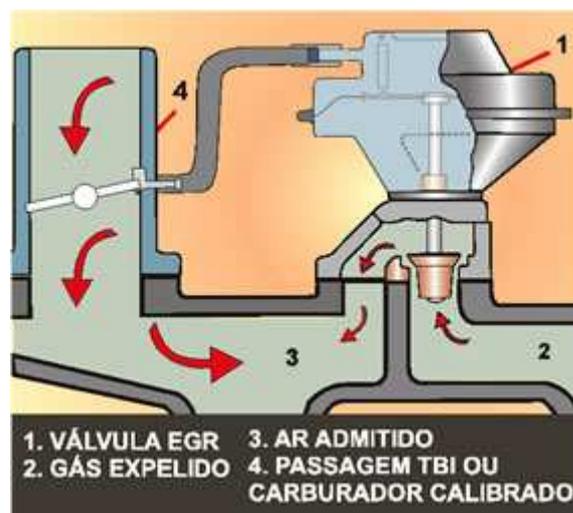


Figura 34: Acionamento da EGR em conjunto com a borboleta de aceleração

Não existe um teste eficiente para checar a eficiência das válvulas EGR, uma vez que só se poderá comprovar se seu diafragma está perfeito através da aplicação de vácuo. Porém, seu correto funcionamento, como aprendemos, depende também da atuação da

pressão positiva dos gases de escapamento, o que nem sempre se pode confirmar. Quando forem observadas falhas no funcionamento do motor em altas rotações, marcha lenta irregular ou mesmo apagamento do motor após desacelerações, bem como altos níveis de emissão de CO, a culpada pode ser a válvula EGR e deverá ser substituída por outra de mesma especificação. Porém, para motores idênticos, no entanto aplicados em veículos diferentes, pode-se utilizar EGR's diferentes, embora fisicamente idênticas (NAPOLETANO, 200?). (NAPOLETANO, 200?).

Um estudo realizado na China, o qual avalia a utilização de dimetil éter (DME) como combustível alternativo para motores diesel, afirma que se pode atingir uma redução de 40% nas emissões de NO_x com esse combustível, utilizando-se a recirculação de gases da exaustão – EGR. A Figura5 mostra o efeito da variação da taxa de EGR na emissão de NO_x para o motor a 1800 e 2400 rpm. Nota-se que a emissão de NO_x reduziu com a elevação da taxa de recirculação de gases da exaustão. Isso se deve ao fato da presença de CO_2 e H_2O provenientes dos gases da exaustão, bem como a queda da temperatura de combustão provocada por esses (YING; LONGBAO, 2007).

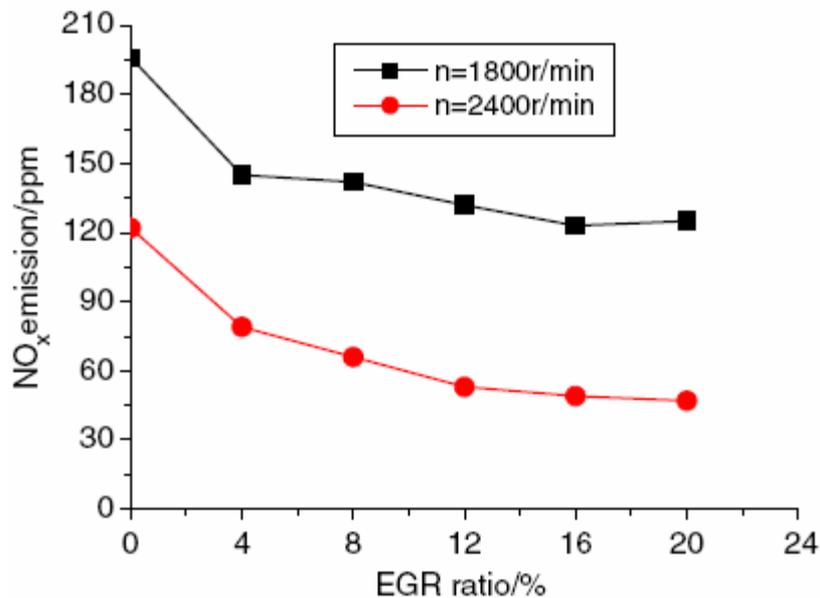


Figura 35: Recirculação de gases da exaustão x Emissão de NO_x

É importante registrar que YING e LONGBAO (2007) constataram um aumento nas emissões de HC e CO (Figura6) quando se elevou a taxa de EGR, isso se explica devido a baixa concentração de oxigênio e diminuição da temperatura de combustão. Esse efeito tornar-se-ia impeditivo para a aplicação da estratégia ERG, se não fosse a utilização de um

conversor catalítico, o qual é responsável por uma redução em torno de 80% das emissões de CO.

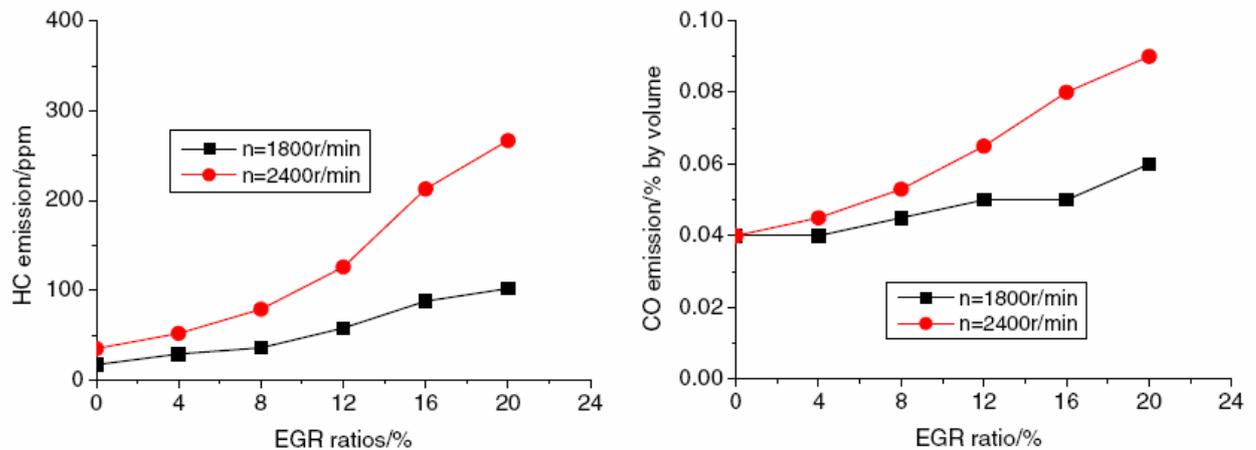


Figura 36: Recirculação de gases da exaustão x emissão de HC/CO

3.9 Evolução da Legislação e das Normas no Brasil

O Brasil foi o primeiro país a adotar uma legislação específica para reduzir as emissões veiculares na América do Sul. Em 1976, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) estabeleceu, com a Resolução nº 507, o controle das emissões de gases e vapores do cárter (PROCONVE, 2006).

Em 1977, as primeiras discussões sobre a necessidade da implantação de um programa nacional de controle de emissões veiculares ocorreram. Um dos marcos dessas discussões foi a realização, nesse ano, de um seminário internacional promovido pela CETESB, que contou com a presença de especialistas dos EUA. Uma das contribuições desse evento foi o surgimento das primeiras idéias sobre a criação de um programa de controle de emissões veiculares em nível nacional (PROCONVE, 2006).

Nesse período, com a formação da comissão de estudos “Emissão de Auto Veículos”, na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a CETESB, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e a indústria automobilística passaram a discutir a elaboração de normas técnicas sobre o assunto. O trabalho dessa comissão foi determinante na avaliação e adoção das normas técnicas internacionais mais apropriadas para as condições brasileiras. Em 1981, foi elaborada a Norma NBR 6601 – Análise de Gases de Escape de Veículos Rodoviários Leves a Gasolina, que pode ser considerada a principal base técnica para o estabelecimento dos requisitos para os veículos

comerciais médios e pesados, equipados com motores dos ciclos Otto e Diesel (PROCONVE, 2006).

Finalmente, em 1986 CONAMA aprova a Resolução nº 18/1986, instituindo-se, então, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Resoluções adicionais estabeleceram diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para diferentes categorias de veículos e motores, nacionais e importados (PROCONVE, 2006).

A estratégia do PROCONVE objetiva o controle das emissões de poluentes dos veículos leves e pesados. Desta forma foram estabelecidos limites máximos para emissões de poluentes, implantados em fases sucessivas, e cada vez mais severos, com prazos para adequação dos veículos. Esse programa envolve, também, a homologação prévia e acompanhamento da conformidade de produtos e programas de inspeção e manutenção (PROCONVE, 2006).

Assim, os limites de emissões determinados devem ser atingidos em prazos preestabelecidos. A rota tecnológica a ser eleita pelos fabricantes é de livre escolha, desde que os limites sejam atingidos. A Tabela 4 apresenta os limites previstos para veículos leves de passageiros (PROCONVE, 2006).

Tabela 4: Limites máximos de emissão de poluentes para veículos leves de passageiros

<i>POLUENTES</i>	<i>Fase 1 até 31/12/1991</i>	<i>Fase 2 até 31/12/1996</i>	<i>Fase 3 até 31/12/2006</i>	<i>Fase 4 desde 01/01/2005⁽¹⁾</i>	<i>Fase 5 a partir de 01/01/2009</i>
Monóxido de carbono (CO em g/km)	24,00	12,00	2,00	2,00	2,00
Hidrocarbonetos (HC em g/km)	2,1	1,2	0,30	0,30 ⁽²⁾	0,30 ⁽²⁾
Hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	NE	NE	NE	0,16	0,05
Óxidos de Nitrogênio (NO _x em g/km)	2,00	1,40	0,60	0,25 ⁽³⁾ ou 0,60 ⁽⁴⁾	0,12 ⁽³⁾ ou 0,25 ⁽⁴⁾
Material particulado (MP em g/km)	NE	NE	0,05	0,05	0,05
Aldeídos (CHO em g/km)	NE	0,15	0,03	0,03	0,02

<i>POLUENTES</i>	<i>Fase 1 até 31/12/1991</i>	<i>Fase 2 até 31/12/1996</i>	<i>Fase 3 até 31/12/2006</i>	<i>Fase 4 desde 01/01/2005⁽¹⁾</i>	<i>Fase 5 a partir de 01/01/2009</i>
Emissão evaporativa (g/ensaio)	6,00	6,00	2,00	2,0	2,0
Emissão de gás no cárter	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula

(1) Em 2005 à para 40% dos veículos comercializados; em 2006 à para 70% dos veículos comercializados; e a partir de 2007 à para 100% dos veículos comercializados.

(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV.

(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol.

(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel

(NE) Não exigível.

Contudo, esses limites são exigidos aos fabricantes de veículos, ou seja, esses índices devem ser cumpridos no momento em que os veículos saem de fábrica. Complementando a Resolução nº18/1986, a Resolução CONAMA nº 07/1993 dispõe sobre as diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento do Programa de Manutenção e Inspeção de Veículos em Uso – IM, no qual constam as emissões padrão específicas para veículos em uso. Ao contrário dos índices que são exigidos aos veículos no momento em que saem de fábrica, apenas dois poluentes são limitados. Ver Tabela 5 e 6.

Tabela 5: Limites para monóxido de carbono

<i>Ano-modelo</i>	Limites (%vol.)	
Até 1979	7,0*	6,0
1980-1988	6,5*	5,0
1989		4,0
1990-1991	6,0*	3,5
1992-1996	5,0*	3,0
A partir de 1997	1,5*	1,0

(*) Limites de CO opcionais, válidos somente para estágio inicial do Programa I/M.

Tabela 6: Limites para hidrocarbonetos

	Limites (ppm)	
Combustível	Gasolina/misturas(gasolina/álcool)	Álcool/mistura ternária
Ano-modelo: Todos	Gás combustível 700	100

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA nº 07/1993 os procedimentos para inspeção de veículos leves do ciclo Otto os quais são baseados nas normas ABNT – NBR 13539 e 13540 determinam que:

- [...] 1. Previamente à inspeção, deverá ser apresentada a documentação de identificação do veículo para registro.
2. Os veículos equipados para operar, por opção do usuário, com mais de um tipo de combustível, deverão ser testados com todos os tipos de combustíveis previstos.
3. Após o registro dos dados do veículo, os operadores de linha deverão verificar se o veículo apresenta funcionamento irregular do motor, emissão de fumaça visível (exceto de vapor a água), vazamentos aparentes e alterações no sistema de escapamento. Constatados quaisquer desses problemas, o veículo será considerado rejeitado e será fornecido o Relatório de Inspeção do Veículo.
4. No caso do veículo não ter sido rejeitado, será submetido a uma inspeção visual dos itens de controle de emissão.
5. Após a inspeção visual deverá ser medido o nível de ruído na condição parado nas proximidades do escapamento, conforme procedimentos estabelecidos na Norma NBR-9714 - Ruído Emitido por Veículos Automotores na Condição Parado - Método de Ensaio.
6. Previamente à medição dos gases de escapamento, deverá ser realizada a descontaminação do óleo do cárter mediante a aceleração com o veículo parado, em velocidade angular constante, de aproximadamente 2500 rpm, sem carga e sem uso do afogador, durante um período mínimo de 30 segundos.
7. Logo após a descontaminação do óleo de cárter, deverão ser realizadas as medições dos níveis de concentração de CO, HC e diluição dos gases de escapamento do veículo a 2500 rpm \pm 200 rpm sem carga. Em seguida são medidos os valores das concentrações de CO, HC e diluição em marcha lenta e da velocidade angular. Em caso de aprovação, será emitido o certificado de Aprovação do Veículo. Em caso de reprovação em qualquer um dos itens inspecionados, exceto as concentrações de CO e HC, o veículo será reprovado e será fornecido o Relatório de Inspeção do Veículo.
8. Se os valores medidos de CO e HC não atenderem aos limites estabelecidos no anexo I, o veículo será pré-condicionado mediante a aceleração em velocidade angular constante de aproximadamente 2500 rpm sem carga e sem uso de afogador durante 180 segundos e novas medições de CO, HC e diluição a 2500 rpm \pm 200 rpm sem carga e marcha lenta serão realizadas. Se os novos valores medidos atenderem aos limites estabelecidos, o veículo será aprovado e será fornecido o Certificado de Aprovação do Veículo. Em caso de reprovação, será fornecido o Relatório de Inspeção do Veículo.
9. Procedimentos alternativos à sistemática de descontaminação do óleo do cárter, que evitem ou minimizem a interferência dos gases do cárter nas medições, poderão ser adotados, desde que tecnicamente comprovados e operacionalmente viáveis [...].

4 INTRODUÇÃO À ESTATÍSTICA

4.1 Produção de Dados

Os dados numéricos são a matéria-prima para o crescimento do conhecimento. A estatística é um instrumento que contribui para que os dados gerem conhecimento, e não confusão. A estatística começa a desempenhar um papel essencial quando o enfoque passa das medidas sobre indivíduos (sejam mancais, ou veículos, ou pessoas) para a coleta de dados sobre muitos indivíduos. Esses processos ou padrões para produção de dados são chamados planejamentos (MOORE, 2002).

Eis alguns problemas que um planejamento deve abordar: Sobre quantos indivíduos deve-se coletar e como selecionar os mesmos. A partir de então surge a idéia de amostragem, ou seja, estudar uma parte a fim de se obter informações sobre o todo. O planejamento amostral mais simples corresponde a extrair uma amostra de tamanho n que consiste em n indivíduos da população, escolhidos de tal maneira que cada conjunto de n indivíduos tenha a mesma chance de constituir a amostra efetivamente selecionada. Essa técnica é conhecida como Amostra Aleatória Simples (MOORE, 2002).

A utilização dessa técnica é importante para que o tamanho da amostra não venha influenciar o comportamento estatístico da amostra. Para se ver como isto é plausível, ao se imaginar a extração de uma amostra de milho, atirando-se uma pá côncava em um lote de sementes de milho, a pá não sabe se está rodeada por um saco de milho ou pela carga de um caminhão. Desde que o milho esteja bem misturado (De modo que a pá selecione uma amostra aleatória), a variabilidade do resultado depende apenas do tamanho da pá.

O fato de a variabilidade ser controlada pelo tamanho da amostra tem conseqüências importantes para o planejamento amostral. Uma Amostra Aleatória Simples (AAS) de tamanho 2.500 extraída dos 270 milhões de residentes dos Estados Unidos dá resultados tão precisos quanto uma AAS de 2.500 dos 740.000 habitantes de San Francisco (MOORE, 2002).

O exemplo comprova que o mais importante em uma amostragem é a forma aleatória de coleta, muito embora a maioria das técnicas de amostragem considerem o tamanho da população um critério fundamental para se chegar ao tamanho da amostra considerando um nível de confiança. Contudo, essas técnicas são limitadas pelo tipo de distribuição da população, em outras palavras, há a necessidade de um prévio conhecimento das características estatísticas da população a ser estudada.

Sem o conhecimento prévio dessas características o emprego de técnicas sistemáticas de amostragem pode prejudicar a precisão dos resultados. Porém este trabalho é fundamentado na comparação entre várias amostras, ou seja, após a comparação entre gráficos de média-erro, gráficos de caixa, parâmetros estatísticos como média e desvio-padrão, foram realizados testes de significância a fim de se verificar a diferença entre os grupos sob o ponto de vista estatístico.

A robustez dos **Testes-T de Student** e da **Análise de Variância Múltipla (ANOVA)** permite concluir que uma amostra de 384 veículos de uma população de 17.518 – veículos equipados com GNV – (DETRAN, 2008) é suficiente para produzir resultados significativos a um nível de significância de 5%. Segundo MOORE (2002) os procedimentos utilizados pelo **Teste-T** são robustos mesmo para distribuições assimétricas quando o tamanho da amostra é grande, digamos $n > 39$. Adicionalmente, MOORE afirma que ANOVA é relativamente insensível a não-normalidade, especialmente quando os tamanhos das amostras são semelhantes.

4.2 Análise Exploratória de Dados

Os instrumentos e idéias estatísticas ajudam a analisar dados a fim de descrever suas principais características. Essa análise é chamada análise exploratória de dados. Tal como um explorador atravessando terras desconhecidas, deseja-se inicialmente descrever o que vemos, e para isso se faz necessário analisar cada variável isoladamente, para depois estudarmos as relações entre elas.

Como o principal objetivo desse estudo é analisar quantitativamente as emissões veiculares, é necessário executar uma análise da distribuição das seguintes variáveis quantitativas: CO, CO₂ e HC. A distribuição de uma variável quantitativa registra seus valores numéricos e a frequência de ocorrência de cada valor, e a melhor maneira de se representar uma distribuição é graficamente. Em virtude do tamanho do pacote de dados ser razoavelmente grande, a forma gráfica que melhor pode representar as distribuições dessas variáveis, é o histograma⁹. O exame da distribuição por meio do histograma visa basicamente identificar o padrão global de distribuição e verificar a ocorrência de desvios em relação a esse padrão. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7, por exemplo, mostra um histograma gerado a partir das emissões de NO apresentado por GIMÉNEZ et al (1999) que

⁹ Histograma – É um gráfico que mostra a distribuição de frequência ou de frequência relativa entre os valores de uma única variável (MOORE, 2002)

caracteriza o padrão de distribuição. Basicamente pode-se descrever o padrão global de uma distribuição pela sua forma¹⁰, ao mesmo passo que se pode identificar um importante tipo de desvio: o *outlier*¹¹, um valor individual que se afasta sensivelmente do padrão global.

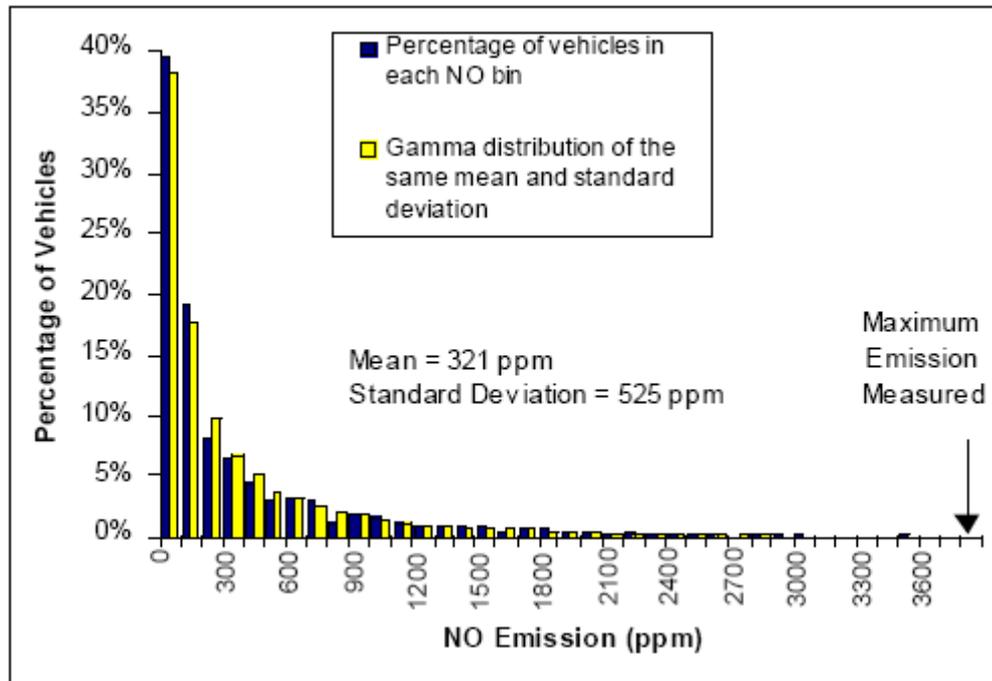


Figura 37: A forma desse histograma caracteriza a distribuição do tipo *Gama* para emissões de NO

4.3 Descrição Gráfica das Distribuições

Essa análise inicial é de fundamental importância para as análises posteriores, haja vista que o padrão de distribuição é pré-requisito para escolha do melhor método de análise exploratória.

A Figura38 revela que os padrões de distribuição, provenientes da gasolina e do GNV, são semelhantes, apresentando uma acentuada assimetria à direita, e podem-se identificar dois possíveis *outliers* (entre 8 e 11% de CO). Enquanto que para mistura Flex, a distribuição dos dados se apresenta com pouca variabilidade, concentrando-se no intervalo de 0 a 1% de CO. Isso se deve principalmente a pequena quantidade de veículos nessa modalidade, o que impossibilita cogitar algum padrão geral para distribuição dos dados da mistura flex, em função de uma análise exclusiva do histograma.

¹⁰ Forma – Padrão geral de uma distribuição (Idem)

¹¹ *Outlier* - Um valor individual que se afasta sensivelmente do padrão global (Idem)

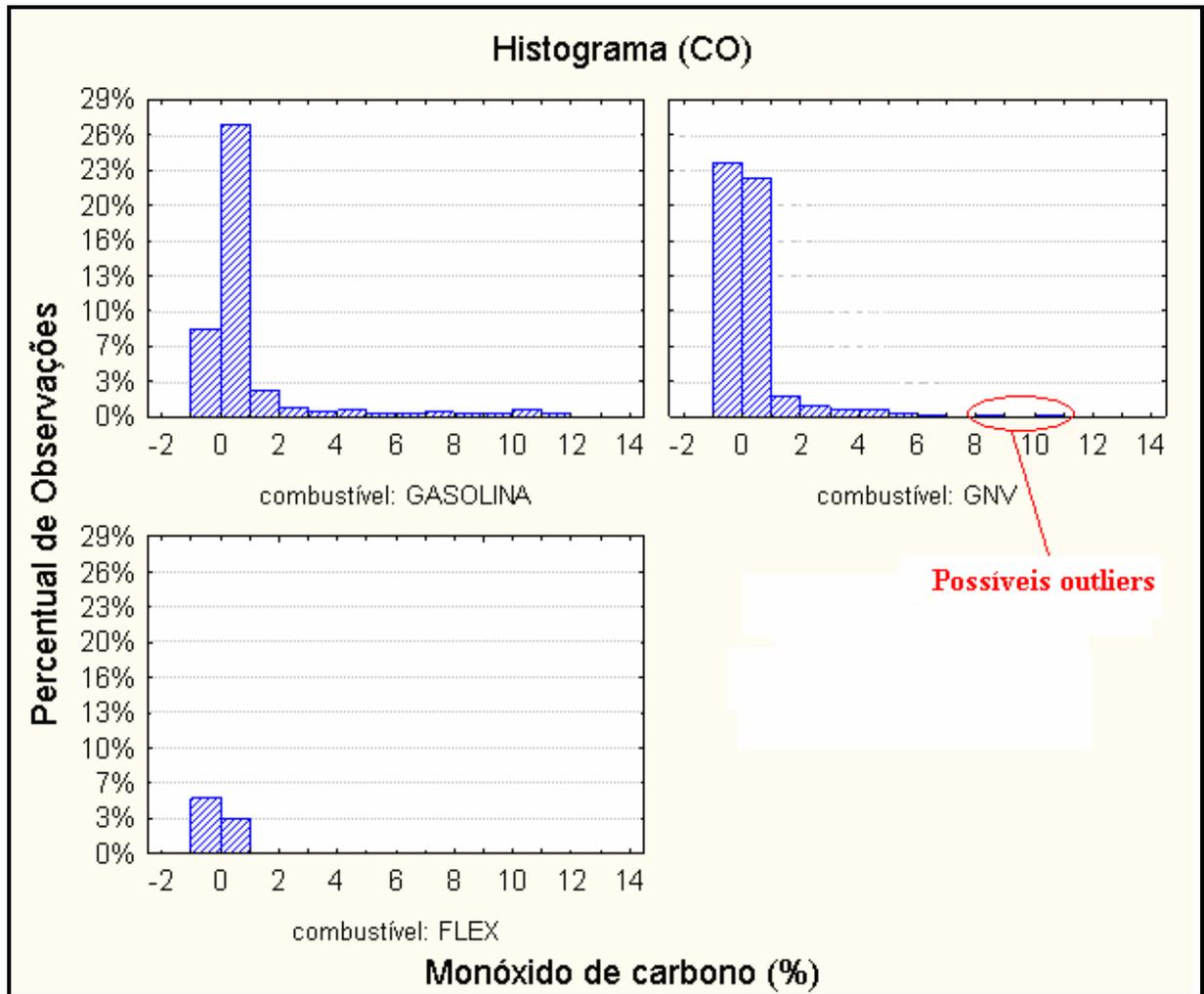


Figura 38: Histograma das emissões de CO

Analisando os histogramas dos níveis de CO_2 (Figura39) pode-se identificar uma distribuição assimétrica à esquerda para gasolina, enquanto que para o GNV o padrão global se aproxima de uma distribuição normal¹². Para a mistura flex a distribuição, assim como para os níveis de CO, apresenta-se com baixa variabilidade concentrando-se entre 14 e 16%.

¹² Distribuição Normal – Tipo de distribuição mais comum e que se apresenta de forma bastante simétrica, contendo uma única moda e tem forma geral de “sino” (MOORE, 2002)

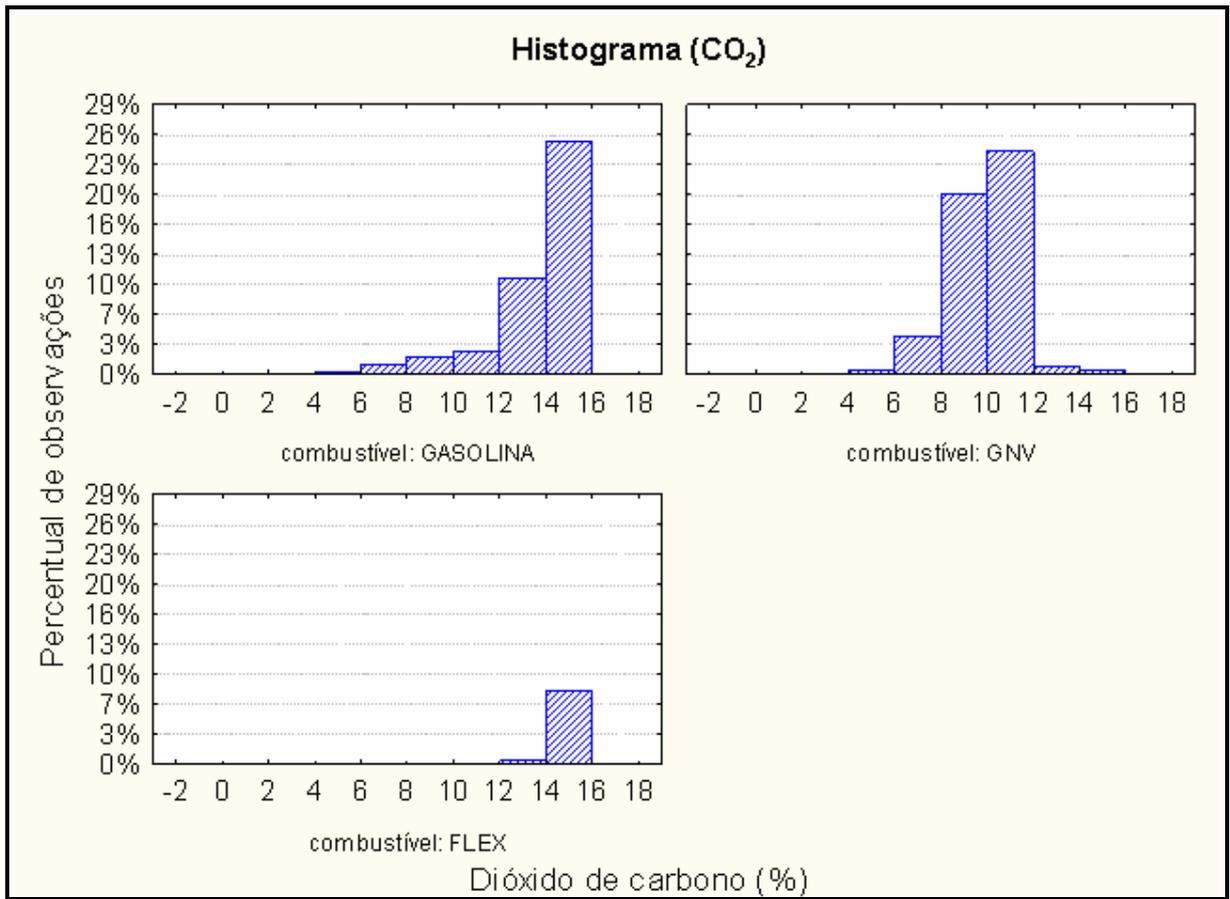


Figura 39: Histograma das emissões de CO₂

Por fim, a Figura 40 mostra o histograma para as emissões de HC demonstrando um padrão de distribuição com baixa variabilidade, não sendo afetada por possíveis *outliers*, para o caso da gasolina e o GNV – entre 1000 a 2000 ppm de HC-, já análise da mistura flex fica prejudicada pelo mesmo motivo do histograma de CO.

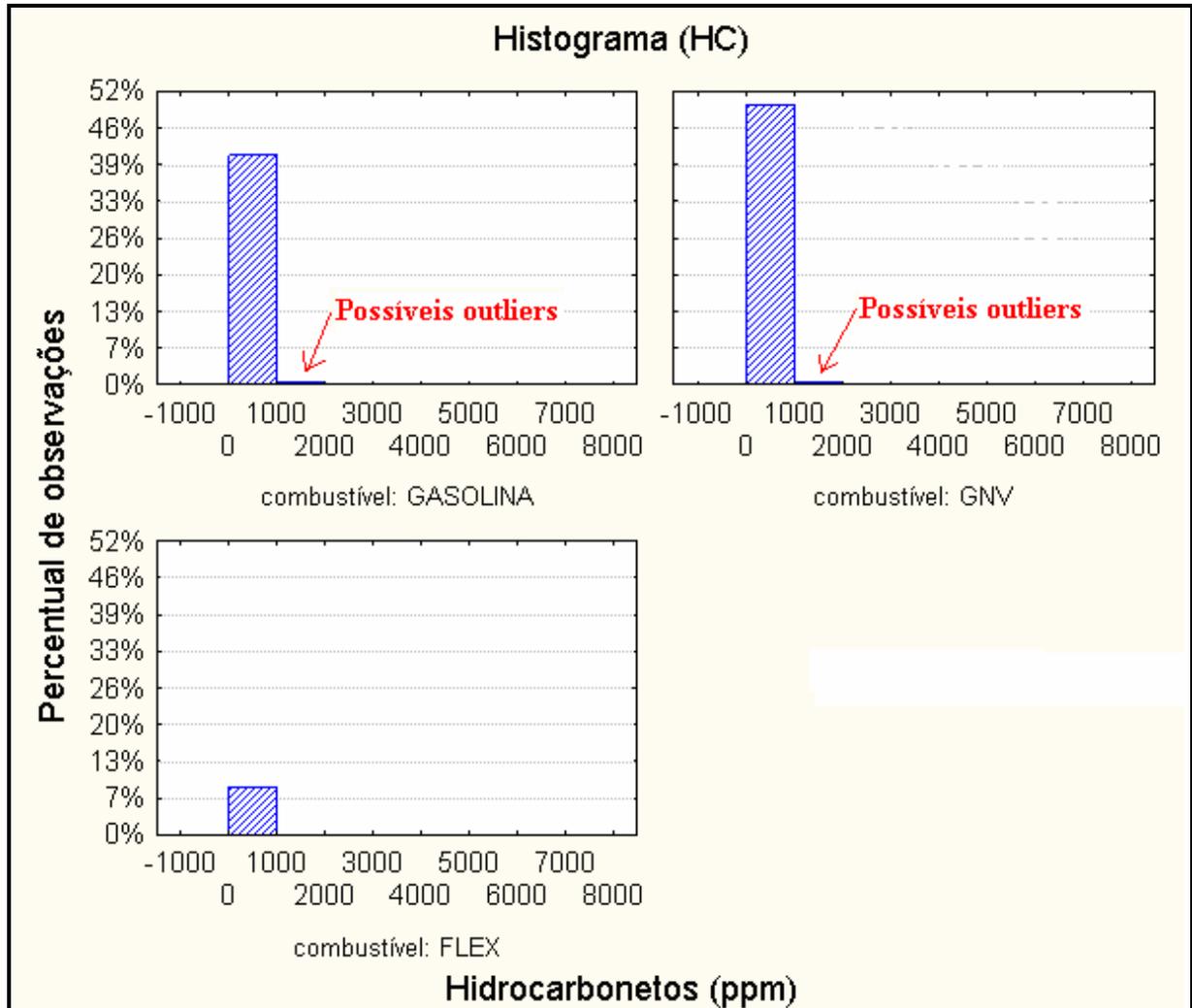


Figura 40: Histograma das emissões de HC

4.3.1 Análise de normalidade

Um histograma pode revelar características visivelmente não-normais de uma distribuição, como *outliers*, pontos extremos, assimetria acentuada ou lacunas. Se, entretanto, o histograma se configura grosseiramente de modo simétrico e unimodal, necessita-se de uma forma mais sensível para julgar se um modelo normal é adequado para a distribuição em análise. O instrumento mais útil para avaliar a normalidade é outro gráfico, o gráfico de probabilidade normal.

A seguir serão apresentados os gráficos de probabilidade normal a fim de confirmar ou não a suspeita de normalidade de algumas distribuições, que de acordo com os seus respectivos histogramas suscitam esse tipo de modelo.

A Figura 1 mostra que há uma distribuição bastante aproximada do modelo normal para as emissões de CO, a partir da mistura flex, visto que os pontos em quase sua totalidade se aproximam de uma reta. Contudo, a descrição numérica apresentada no capítulo 5 investigará de forma mais precisa essa possibilidade. Para as emissões de gasolina e GNV os pontos se distanciam muito da reta de normalidade. Um detalhe importante é a presença de pontos que se desviam muito do padrão global para as emissões do GNV, permitindo suscitar a presença de *outliers* suspeitos a partir de 7% de CO para este combustível.

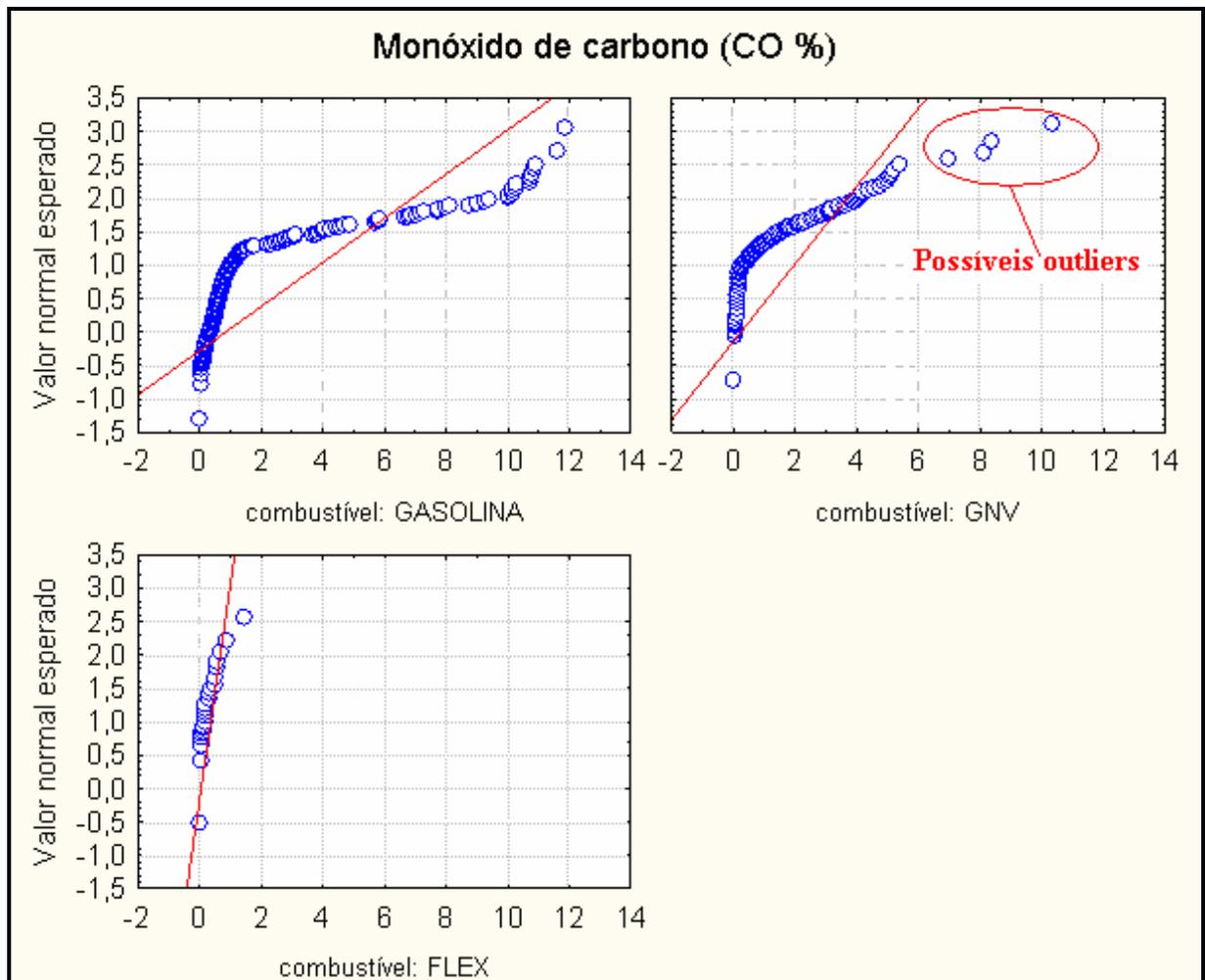


Figura 41: Gráfico de probabilidade normal para emissões de CO

De acordo com a Figura2, a distribuição do nível de CO₂ para o GNV apresenta-se de forma bastante aproximada do modelo normal, visto que a maioria dos pontos do gráfico está próxima de uma reta, confirmando a suspeita gerada a partir do seu histograma. (Figura39) Embora a distribuição da mistura flex tenha se apresentado com baixa variabilidade, a sua normalidade não se confirma no gráfico de probabilidade normal, pelo fato de haver alguns desvios sistemáticos em relação à reta de normalidade.

Acerca de pontos suspeitos, pode-se verificar ainda na Figura2, que tanto para o GNV como para Gasolina, há uma discrepância (possíveis *outliers*) para emissões de CO₂, fato que será investigado logo.

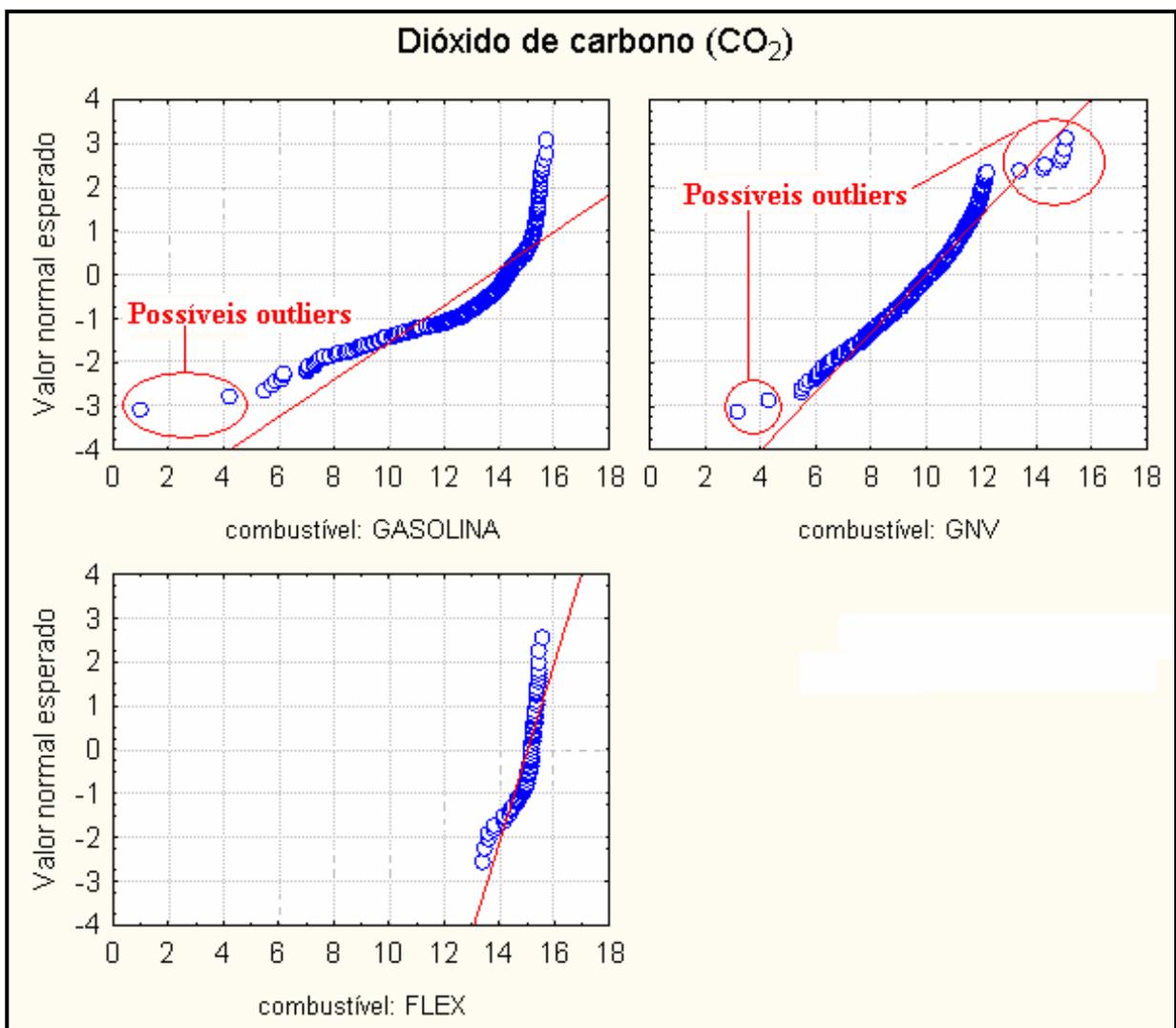


Figura 42: Gráfico de probabilidade normal para emissões de CO₂

Por fim a Figura3 revela uma não-normalidade para o GNV e a gasolina, devida a presença de desvios sistemáticos da reta de normalidade e a presença de pontos discrepantes. Embora não haja desvios com relação a reta de normalidade, a descrição numérica apresentada no capítulo seguinte é indispensável para analisar a normalidade da distribuição da emissão de HC para mistura flex em função da menor quantidade de observações.

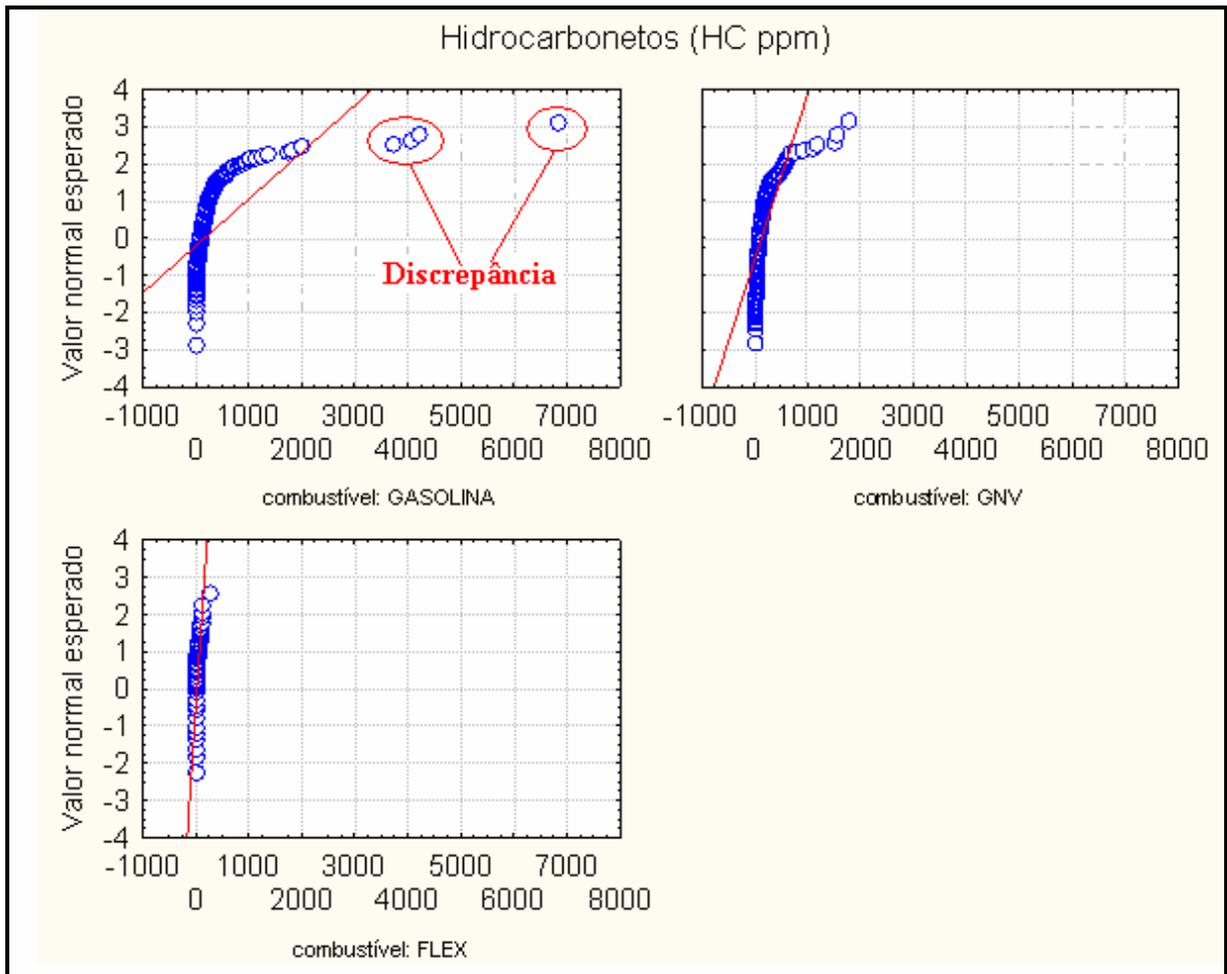


Figura 43: Gráfico de probabilidade normal para emissões de HC

A Tabela 7 apresenta a conclusão da análise gráfica de normalidade acerca das distribuições dos dados.

Tabela 7: Resumo do padrão de distribuição

<i>COMBUSTÍVEL</i>	<i>EMISSIONES</i>		
	<i>CO</i>	<i>CO₂</i>	<i>HC</i>
GASOLINA	Assimétrica	Assimétrica	Assimétrica
GNV	Assimétrica	Aprox. Normal	Assimétrica
FLEX	Aprox. Normal	Assimétrica	Aprox. Normal

4.4 Descrição Numérica das Distribuições

A escassez de literatura acerca da descrição estatística das emissões veiculares motivou a elaboração desta seção, visto que a maioria das pesquisas sobre emissões são realizadas com um número bastante limitado de indivíduos¹³ focando principalmente o efeito da variação das condições de operação nas emissões. Em algumas das raras publicações em português, são apresentados alguns valores típicos para emissões, porém sem especificar a natureza estatística desses dados. Valores de emissões apontados apenas sob forma numérica e sem apresentar características das distribuições e seus parâmetros estatísticos podem ser falaciosos. Então com o objetivo de apresentar adequadamente valores das emissões é importante uma descrição numérica das distribuições.

Uma descrição sucinta de uma distribuição deve incluir sua forma e números que definam seu centro¹⁴ e sua dispersão¹⁵. Até agora se tem a idéia da forma da distribuição baseado na inspeção dos histogramas, porém apenas gráficos não constituem a resposta mais adequada. Portanto, para uma descrição mais apurada, quase sempre se inclui uma medida de centro ou média.

4.4.1 Medidas de centro

As duas medidas comuns de centro são a Média \bar{X} e a Mediana M . A média é o “valor médio” e a mediana é o “valor do meio”. São duas idéias diferentes para centro e as duas medidas se comportam de maneira diferente.

Há, contudo um cuidado todo especial quando se fala de centro tomando-se por base a média, pois a mesma é uma medida que não é resistente aos *outliers* suspeitos, em outras palavras, o seu valor pode ser influenciado por algumas observações extremas. Estas podem ser *outliers*, mas em uma distribuição assimétrica que não tenha *outliers* também puxará a média em direção a cauda mais longa. Como a média não é imune a observações extremas, dizemos que ela não é uma medida resistente de centro¹⁶.

¹³ Na maior parte da bibliografia consultada, os estudos sobre emissões são realizados em laboratórios fazendo uso de um único motor ou veículo, variando-se condições de operação

¹⁴ Centro – Ponto médio de uma distribuição, ou seja, um valor que aproximadamente metade das observações toma valores inferiores a ele e a outra metade toma valores superiores (MOORE, 2002)

¹⁵ Dispersão – Pode ser descrita pelo intervalo entre o menor valor e o maior valor de uma distribuição (Idem)

¹⁶ Medida resistente de centro – Seu valor não se mostra fortemente sensível a variações em poucas observações, por maiores que estas sejam (Idem)

A mediana é a versão formal do ponto médio de uma distribuição, e por isso é uma medida considerada resistente, ao contrário da média. A média e a mediana de uma distribuição simétrica praticamente coincidem e quando a distribuição é exatamente simétrica, a média e a mediana são praticamente as mesmas. Em uma distribuição assimétrica, a média está mais afastada, na direção da cauda mais longa, do que a mediana, isso pode ser visto na Figura4.

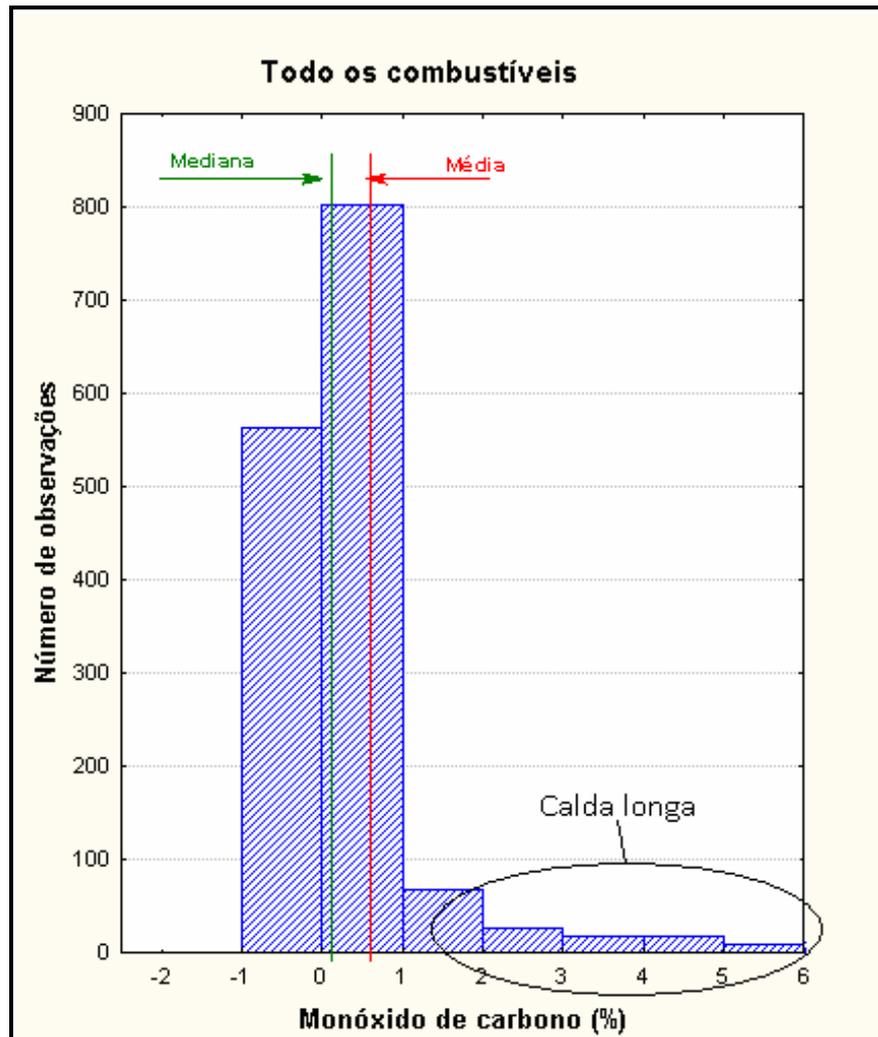


Figura 44: Exemplo de distribuição assimétrica à direita

4.4.2 Medida de dispersão

O resumo dos cinco números não é a descrição numérica mais comum de uma distribuição. Tal distinção pertence à combinação da média para medir o centro, e o desvio-padrão “s” para medir a dispersão. O desvio-padrão mede a dispersão considerando quão afastadas da média estão as observações. Porém o desvio-padrão é a medida natural de dispersão para uma classe especialmente importante de distribuições unimodais, as

distribuições normais. O desvio-padrão mede a dispersão em torno da média e deve ser usado somente quando a média é escolhida como medida de centro. Assim como a média, “s” não é resistente, uns poucos *outliers* podem fazer com que “s” se torne muito grande.

4.5 Estratégia para *Outliers*

Como visto anteriormente, os *outliers* são pontos que se desviam do padrão global de distribuição e podem influenciar negativamente na descrição estatística. Nesse sentido deve-se identificá-los e investigar as suas causas, e só então poderá ser adotada uma das seguintes estratégias:

- Corrigir os *outliers*, se eles tiverem sido registrados erradamente
- Eliminá-los quando houver bons motivos para isso

Para identificação de *outliers* suspeitos é utilizada uma regra empírica baseada no intervalo interquartil, conhecida como O critério 1,5 x IIQ para *Outliers*. Ou seja, uma observação é considerada um *outlier* suspeito se está a mais de 1,5 vezes do valor de (IIQ) acima do terceiro quartil ou abaixo do primeiro quartil. Essa estratégia é a maneira de indicar a dispersão de uma distribuição, por meio das observações mínimas e máximas, juntamente com a mediana e os 1º e 3º quartis, conhecida como resumo dos cinco números.

Para facilitar o processo de identificação de *outliers* foram confeccionados os gráficos de caixa ou *Box plot*, buscando uma melhor representação visual. Os gráficos de probabilidade é uma forma razoável de visualizar prováveis *outliers* em relação aos histogramas, porém gráficos de caixa, possibilitam visualizar claramente os pontos extremos e *outliers* suspeitos.

A Figura5 apresenta o gráfico de caixa para emissões de CO e a partir dela podem-se visualizar vários pontos extremos, ou seja, valores que se distanciam muito da tendência global das observações, inclusive mais do que os outliers suspeitos. Contudo, alguns extremos se destacam por serem muito discrepantes para essas emissões provenientes do GNV.

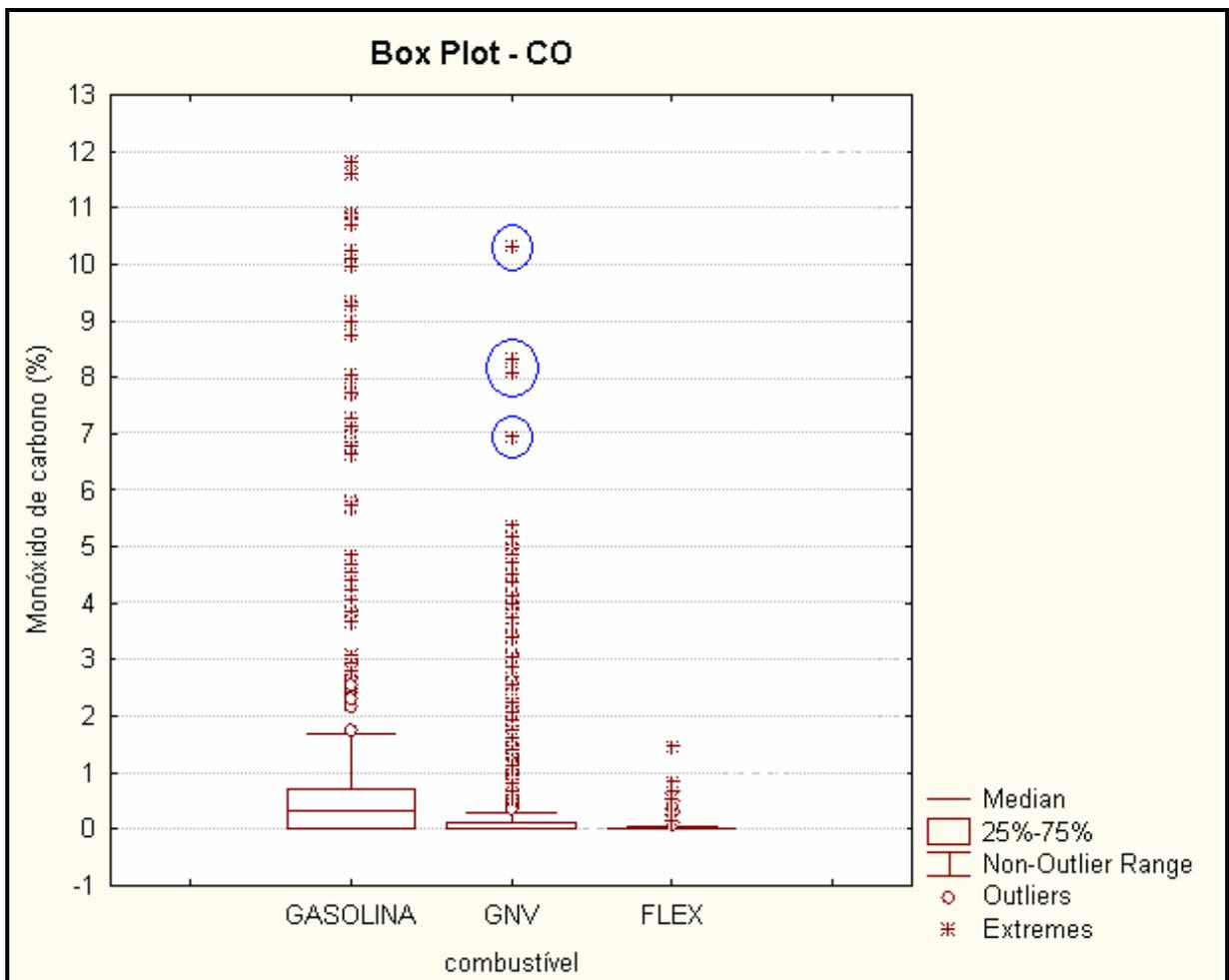


Figura 45: Gráfico de caixa para emissões de CO

Analisando a Figura 46, que apresenta o gráfico de caixa para as emissões de CO₂, verifica-se que alguns pontos extremos, especificamente para concentrações de CO₂ abaixo de 5%, se destacam por terem valores muito distantes da tendência global.

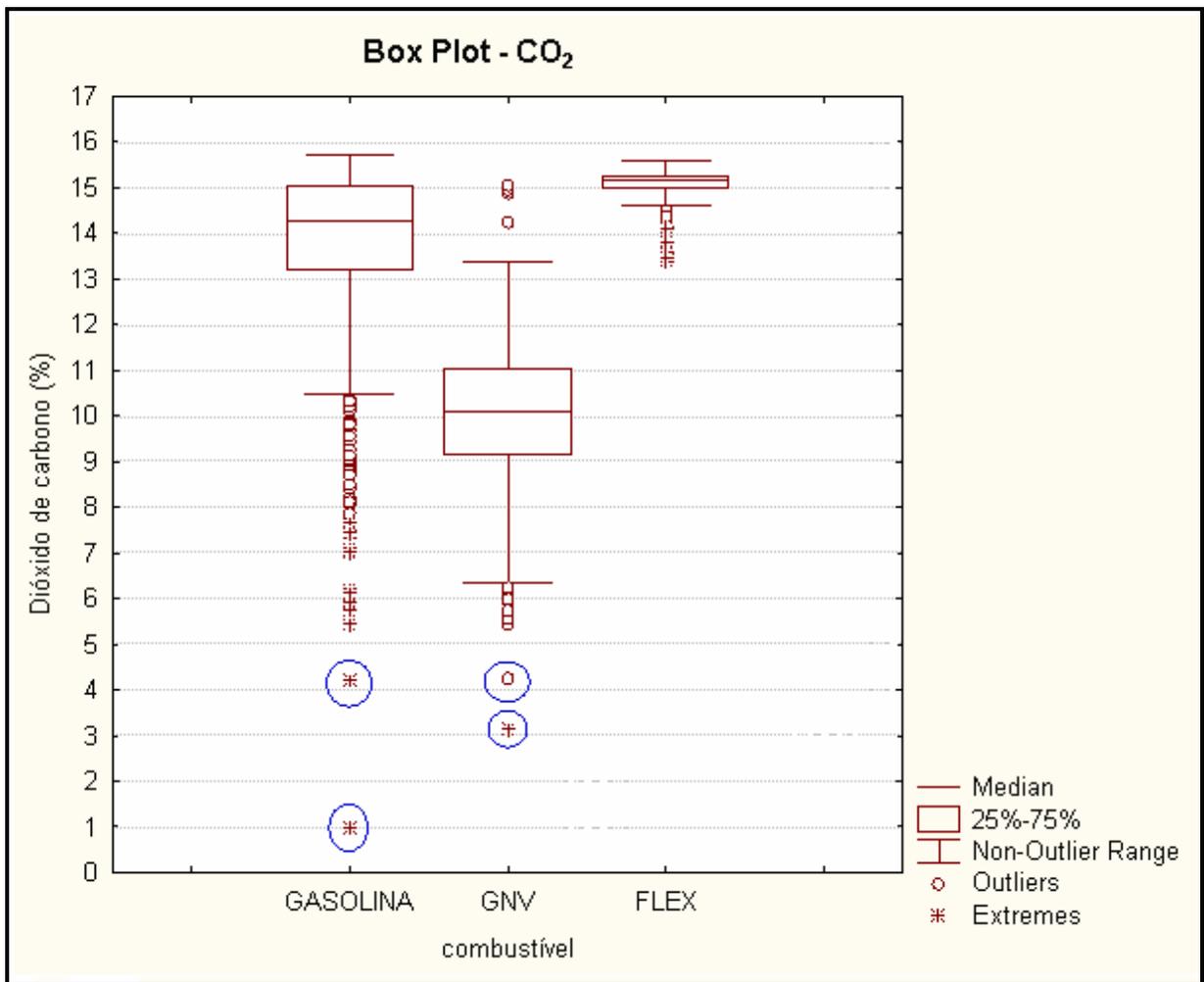


Figura 46: Gráfico de caixa para emissões de CO₂

Por fim, a Figura7 apresenta o gráfico de caixa para as emissões de HC e assim como os anteriores também possui extremos bastante discrepantes. Em outras palavras, observa-se que acima de 2500 ppm de HC alguns pontos extremos se destacam.

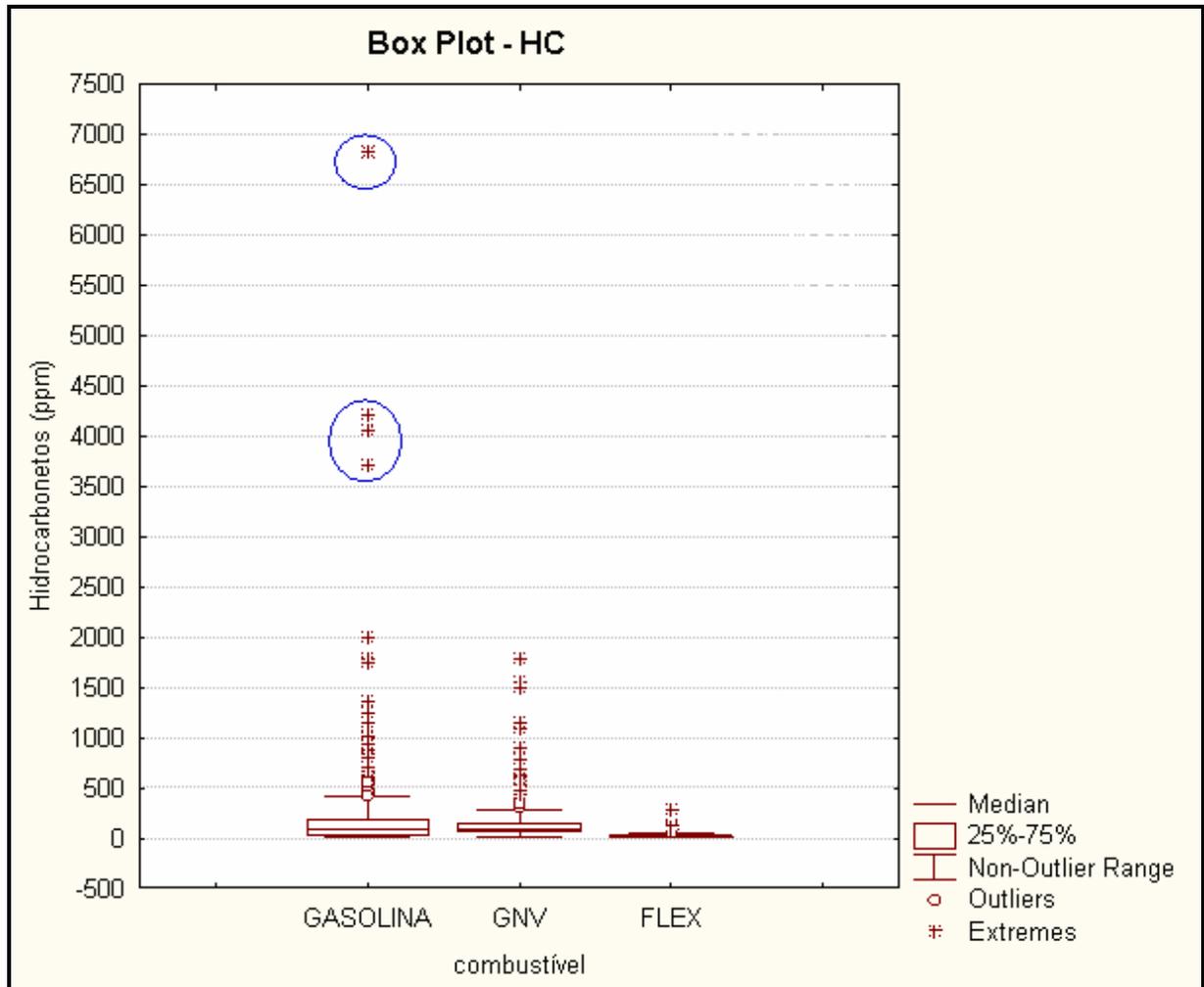


Figura 47: Gráfico de caixa para emissões de HC

A conclusão da análise dos gráficos de caixa resume-se a identificação de *outliers* e extremos que influenciam negativamente a descrição estatística dos dados, bem como a correção ou a eliminação dos mesmos. No entanto, a presença excessiva de extremos revelados por esses gráficos se deve à forte assimetria dos dados, impedindo, portanto o uso do critério de *outliers* com o coeficiente 1,5. Esse critério é utilizado pela maioria dos pesquisadores, porém é mais indicado para modelos normais de distribuição, e por ser um valor empírico, nada impede que seja modificado de acordo com as características de cada modelo.

Todavia, ao se investigar a causa do aparecimento dos extremos mais discrepantes, conclui-se que: Para veículos com emissões de HC acima de 2500 ppm e CO₂ abaixo de 5%, havia um forte indício de que o veículo inspecionado estaria com um problema grave de combustão ou ineficiência do seu conversor catalítico, ou mesmo a ausência deste. Portanto, um veículo dessa natureza não poderia compor a amostra, do contrário estaria contribuindo para aumentar a dispersão alterando sensivelmente a média amostral.

Em face do exposto, optou-se em eliminar da amostra apenas os quatro veículos responsáveis pelos pontos extremos destacados nos gráficos, por considerar o aparecimento dos outros como uma consequência da assimetria apresentada pela amostra.

5 METODOLOGIA

Paralelo a revisão da literatura efetuou-se o processo de aquisição de dados, o qual consistiu em medir as concentrações dos gases poluentes expelidos pelo escape dos veículos. Para tal, foi utilizado um analisador de gases parcial (MARCA: Sun; MODELO: CGS-5500PC). Em seguida, com o auxílio do software STATISTICA executou-se uma análise estatística do conjunto de dados extraídos.

5.1 Equipamentos

As medidas das concentrações dos gases foram obtidas através de um analisador de gases de fluxo parcial a base de infravermelho não dispersivo. A denominação “parcial” se refere ao fato do analisador limitar-se a medir apenas parte dos gases da exaustão, diferentemente de métodos que avaliam os gases em sua totalidade.

5.1.1 Princípio de funcionamento do analisador de gás

Analisadores do tipo *Non Dispersive Infra-red* (NDIR) medem a absorção espectral de um gás em uma faixa espectral do espectro do infravermelho (IR), porém a dispersão espectral do espectro de absorção do gás não é usado. Dentro de um analisador NDIR, dois feixes de raios infravermelhos com mesma energia são dirigidos a duas células ópticas paralelas: um feixe passando pela célula da amostra e outro pela célula de referência. A célula de referência pode ser fechada ou pode conter um fluxo contínuo com um gás de referência.

A radiação infravermelha é interrompida por um “interceptor óptico” (*Shopper Wheel*) a certa frequência. Dependendo da aplicação, a radiação pode ser então opticamente filtrada para reduzir a interferência de fundo por outros componentes que absorvem o infravermelho.

Durante a análise, uma porção da radiação infravermelha é absorvida pelo componente de interesse na célula de amostra. A quantidade de radiação infravermelha que é absorvida é proporcional a concentração do componente de interesse, como por exemplo, o monóxido de carbono. O detector é um “microfone de gás” baseado no princípio de Luft. Ele converte a diferença de energia entre a célula de amostra e a de referência em uma variação de capacitância. Essa variação, a qual é relacionada com a concentração de componente de

interesse é processada e expressada como a variável primária, por exemplo, a concentração de um gás (Figura48).

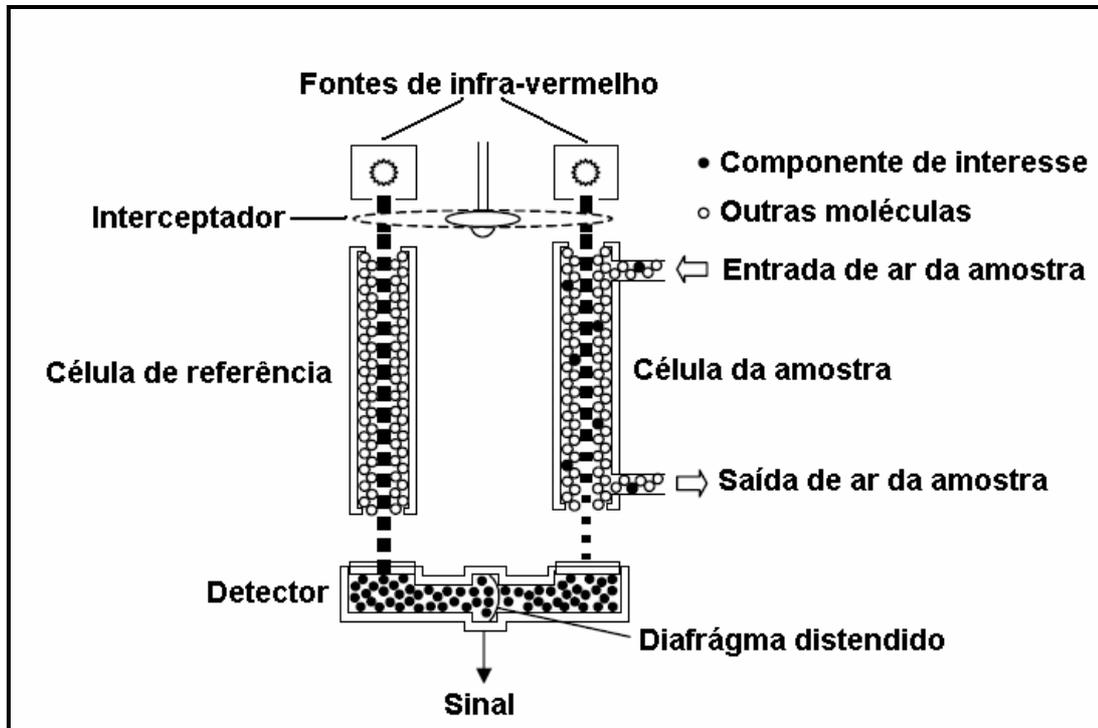


Figura 48: Esquema simplificado do princípio de funcionamento do analisador infravermelho

5.1.2 Descrição técnica do analisador de gás

O analisador de gases utilizado nos testes foi o modelo CGS-5500PC do grupo Snap-on do Brasil (Figura49). Esse modelo utiliza a tecnologia infravermelha não dispersiva e foi desenvolvido para fins de inspeção veicular, tendo então suas configurações de testes especificadas pela Resolução CONAMA nº 07 e as normas NBR-13539 e 13540. Esse equipamento permite medições de velocidade angular do motor (rpm), temperatura do óleo lubrificante (°C), monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Hidrocarbonetos (HC) dentre outras variáveis.

Esse equipamento, por força do regulamento NIT-DICOR 47 do INMETRO, é calibrado a cada 12 meses (Certificado de calibração-ver ANEXO) sendo a fiscalização desse procedimento por meio de auditorias anuais e extraordinárias por agentes do INMETRO. Algumas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 8.



Figura 49: Analisador de gases CGS-5500PC

Tabela 8: Especificações técnicas do analisador de gases CGS-5500PC

Dimensões(Comp. x Larg. x Alt.)	82 x 97 x 118 cm (sem monitor)
Peso	96 kg
Tensão de alimentação	110 ou 220 V AC - 60 Hz – 800 w
Temperatura de Operação	2 a 50 °C
Umidade	Até 85% (sem condensação)
Altitude	-305 a 2133 m
CPU	Compatível com IBM PC (modelo ATX)
Monitor	SVGA 15" Colorido
Memória RAM	128 Mb
Disco Rígido	20 Gb
Drive CD ROM	52 Velocidades
Impressora	Jato de tinta

5.2 Procedimento Experimental

Inicialmente liga-se o analisador de gases e aguarda o período de aquecimento do mesmo (em torno de 15 minutos). Em seguida ocorre um exame de 30 segundos

verificando a existência de vazamentos na sonda coletora de gases. Antes de cada teste o analisador efetua o “auto zero”, em outras palavras, um ajuste pertencente à lógica do equipamento responsável por estabelecer o “zero” de referência e o “ganho” do banco de dados. Esse procedimento dura 20 segundos. Após esses procedimentos o analisador está apto a efetuar as análises.

Em seguida ao preenchimento dos dados do veículo (placa, ano-modelo, combustível, etc), são conectados os sensores que irão monitorar e fornecer as informações para o analisador. A Figura 5050 apresenta os sensores que são conectados ao veículo. Ao dar a partida no motor o analisador verifica inicialmente a temperatura mínima para teste (80°C) do óleo lubrificante.

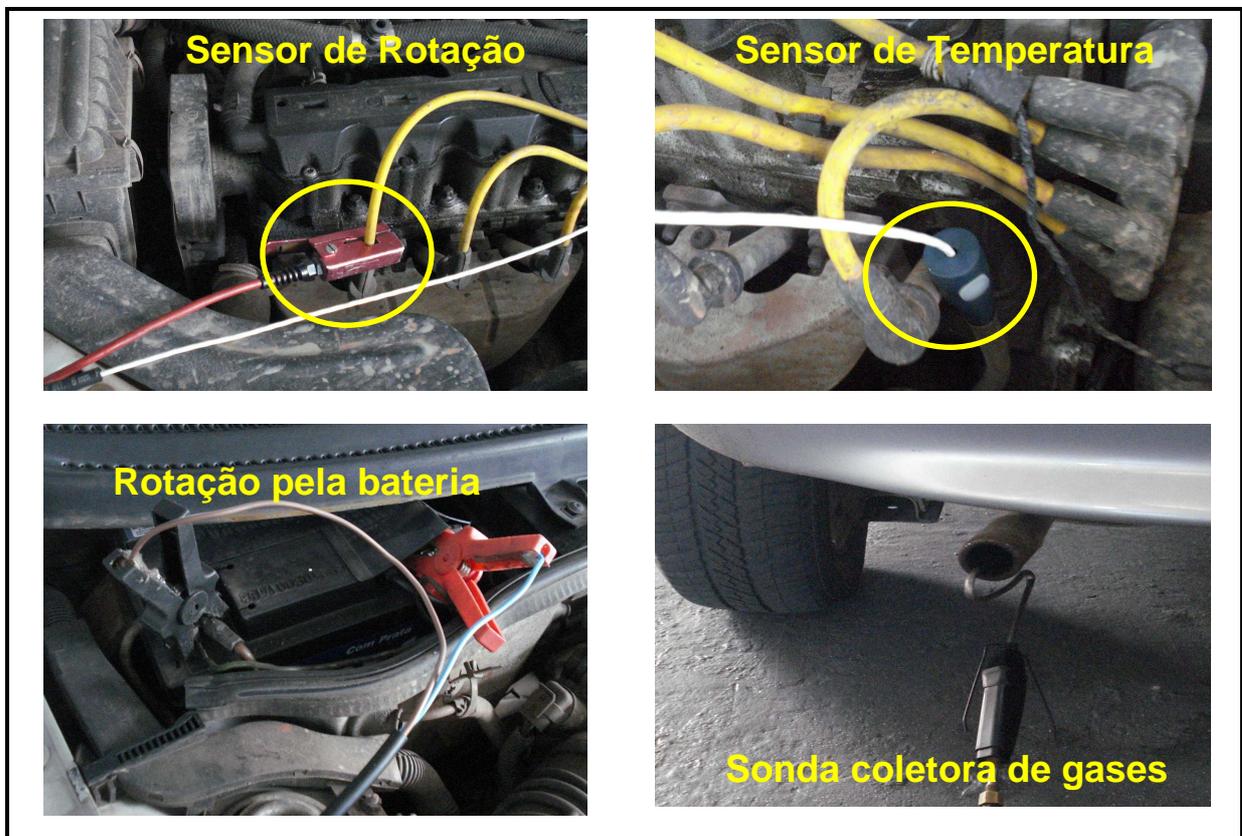


Figura 50: Sensores utilizados na execução dos testes

Então com todos os sensores conectados e condições de teste atendidas, inicia-se o teste para o 1º combustível, (gasolina ou a mistura flex). O inspetor deverá acelerar até que o motor atinja uma rotação de 2500 rpm (+/- 200 rpm), durante 30 segundos. Vale salientar que o motor deve estar em vazio, ou seja, isento de cargas, como por exemplo: faróis ligados, ar condicionado acionado entre outras. Em seguida aguarda-se 30 segundos com o motor em marcha lenta (900 rpm - +/-200), ainda no 1º combustível. Depois o inspetor efetua

os procedimentos anteriores com o 2º combustível (GNV). Ao final o analisador emite um relatório como o da Figura 1.

 CGS-5500 ANALISADOR DE GASES E FUMAÇA <small>Versão do Software: 3.1.2</small>		INSPETRANS AV. INTERVENTOR MÁRIO CÂMARA, 2368 CIDADE DA ESPERANÇA - NATAL - RN Fone: (84) 3605-9000 Fax: (84) 3605-6261		
INSPEÇÃO OFICIAL		Data: 07/12/2007 Hora: 16:59		
Cliente : LUIZ			Telefone :	
Endereço :			CEP :	
Bairro :				
Cidade :				
Operador: HERALDO				
Marca : GM	Aceleração Máxima :	Combustível : Bi-Combustível		
Veículo : VECTRA	Categoria :	Tipo ignição : Dupla		
Modelo :	Posição Motor :	Escapamento : Único		
Ano fab. : 1997	Peso Bruto Total :	Catalisador : Sim		
Motor :	Potência :	Marcha lenta : 600 à 1200 rpm		
Nº placa : KJA-5998	Tração :	Marcha alta : 2300 à 2700 rpm		
Km atual :	Chassi :	Próx inspeção : 7/12/2008		
ITEM DE INSPEÇÃO	LIMITE	MARCHA LENTA	MARCHA ALTA	RESULTADO
1º Combustível - Gasolina Comum				
Nível de emissão de CO		0,00 %	0,00 %	
Nível de emissão de COc	Máximo 1,50 %	0,00 %	0,00 %	APROVADO
Nível de emissão de HC	Máximo 700 ppm	28 ppm	35 ppm	APROVADO
Diluição (CO + CO2)	Mínimo 6,00 %	8,97 %	13,82 %	APROVADO
Rotação	Veja espec. acima	1030 rpm	2540 rpm	APROVADO
2º Combustível - GNC				
Nível de emissão de CO		0,00 %	0,00 %	
Nível de emissão de COc	Máximo 1,50 %	0,00 %	0,00 %	APROVADO
Nível de emissão de HC	Máximo 700 ppm	50 ppm	56 ppm	APROVADO
Diluição (CO + CO2)	Mínimo 6,00 %	5,97 %	10,85 %	REPROVADO
Rotação	Veja espec. acima	950 rpm	2620 rpm	APROVADO
Ruído				N/A
CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA.				

Figura 51: Relatório de inspeção emitido pelo analisador de gases

5.3 Armazenamento dos Dados

Ao final de cada teste, é gerado um relatório (Figura1) com os valores das concentrações dos gases bem como o resultado da inspeção oficial, validando ou não o veículo segundo a Resolução CONAMA N° 07. Então, diariamente, esses valores são digitados em uma planilha Excel, e ao término do armazenamento dos dados amostrais, os mesmos são exportados para o software STATISTICA e organizados de modo a permitir o tratamento estatístico apresentado no decorrer desse trabalho (**Erro! Fonte de referência não encontrada.2**).

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Veículo	Ano-Modelo	Combustível	Rotação	Dióxido de carbono (%)	Hidrocarbonetos (ppm)	Monóxido de carbono (%)	Resultado da inspeção
1	GASOLINA	2001	GASOLINA	2500 RPM	0,98	15	0	AP
2	GASOLINA	1996	GNV	900 RPM	3,15	280	0,14	RE
3	GASOLINA	1996	GASOLINA	2500 RPM	4,19	6824	10,73	RE
4	GASOLINA	1998	GNV	900 RPM	4,26	1785	8,08	RE
5	GASOLINA	2000	GNV	900 RPM	5,43	320	0	RE
6	GASOLINA	1996	GNV	900 RPM	5,44	319	0,16	RE
7	GASOLINA	1999	GASOLINA	900 RPM	5,45	1374	7,71	RE
8	GASOLINA	1998	GNV	900 RPM	5,59	252	0,21	RE
9	GASOLINA	1995	GNV	2500 RPM	5,74	1097	0,23	RE
10	GASOLINA	1996	GASOLINA	900 RPM	5,75	249	0,67	RE
11	GASOLINA	1999	GASOLINA	900 RPM	5,91	596	7,04	RE
12	GASOLINA	1997	GNV	900 RPM	5,97	50	0	RE
13	GASOLINA	1996	GNV	900 RPM	6	98	0,1	AP
14	GASOLINA	2001	GNV	2500 RPM	6,01	1161	10,31	RE

Figura 52: Distribuição dos dados em categorias de interesse no STATISTICA

5.4 Definição das Variáveis

Os relatórios com os resultados dos testes possibilitaram coletar três variáveis: Variável V₁- Emissão de Monóxido de carbono (CO), Variável V₂- Emissão de Dióxido de carbono (CO₂) – ambos medidos em porcentagem de volume – e Variável V₃ - Emissão de Hidrocarbonetos não queimados (HC), medida em partículas por milhão (ppm).

Entretanto, as emissões foram medidas de forma que para cada veículo analisado, o mesmo foi alimentado com dois combustíveis diferentes – Gasolina e em seguida GNV ou mistura álcool/gasolina e GNV. Portanto, em termos de combustível, foram analisadas as emissões geradas por três tipos de combustíveis: Combustível A - Gasolina, Combustível B - GNV e Combustível C – A mistura álcool/gasolina, com proporção indefinida e denominada mistura flex.

Além disso, por imposição da Resolução CONAMA nº 07, as análises foram realizadas em dois níveis de rotação do motor, ou seja, sob duas condições de solicitação do

motor: Condição B_R - Em baixa rotação (900 rpm) e Condição A_R - Em Alta rotação (2500 rpm). Ver Figura3.

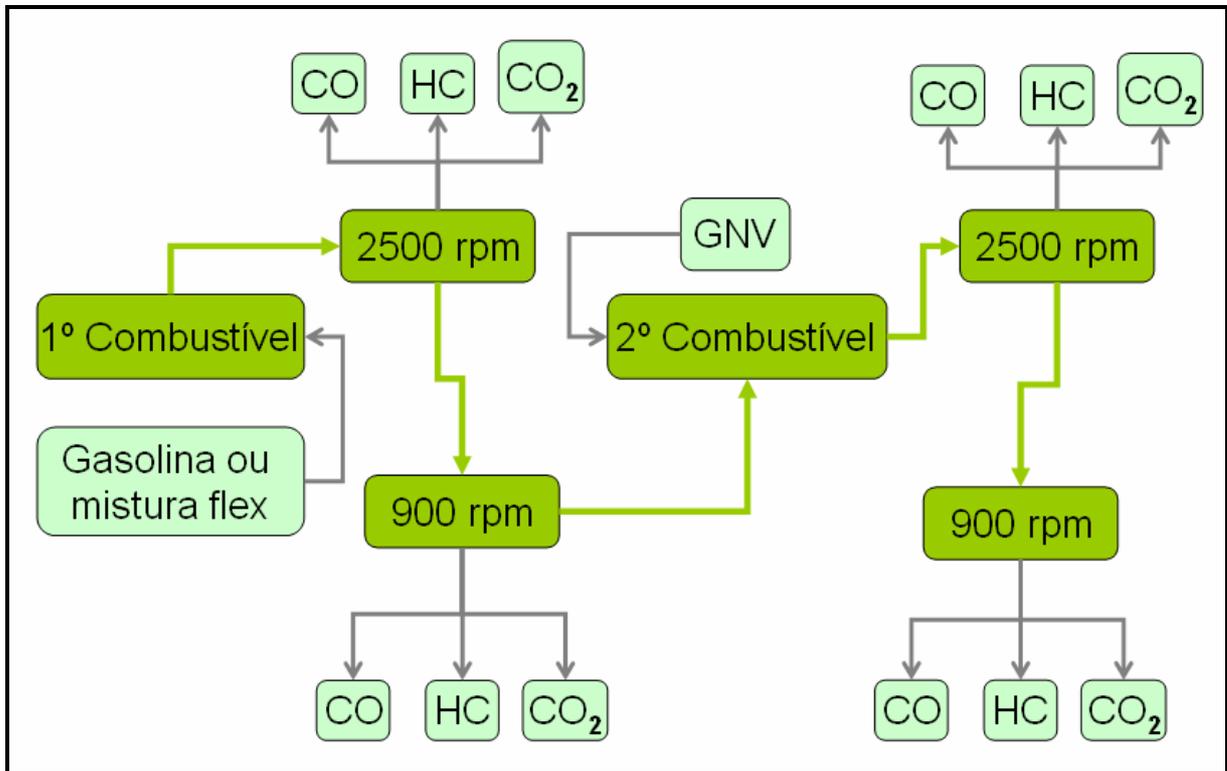


Figura 53: Variáveis de interesse coletadas em cada veículo testado

Essas condições de operação do motor e os três combustíveis utilizados são classificados como variáveis categóricas¹⁷. Além dessas, existe a variável categórica, proveniente do resultado da inspeção, ou seja, aprovação ou reprovação do veículo, do ponto de vista da legislação, e ainda a variável quantitativa discreta¹⁸ ano-modelo do veículo, a qual permite relacionar a idade dos veículos com as três variáveis quantitativas contínuas¹⁹ (CO, CO₂ e HC). A Tabela 9 resume a classificação das variáveis de interesse.

Tabela 9: Classificação das variáveis

VARIÁVEIS CATEGÓRICAS				VARIÁVEIS QUANTITATIVAS			
				Discreta	Contínuas		
Veículo	Combustível	Rotação	Resultado da inspeção	Ano-modelo	Monóxido de Carbono (%)	Dióxido de Carbono (%)	Hidrocarbonetos (HC)

¹⁷ Variável Categórica – Situa um indivíduo (no caso veículo) em um dentre vários grupos ou categoria (MOORE, 2002)

¹⁸ Variável Quantitativa Discreta – Toma valores numéricos que podem realizar operações aritméticas, contudo só pode assumir valores inteiros como, por exemplo, ano-modelo do veículo (Idem)

¹⁹ Variável Quantitativa Contínua – Idêntica a anterior porem pode assumir valores decimais como as medidas de concentração de CO (Idem)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo dos cinco números é, em geral, melhor do que a média e o desvio padrão para descrever uma distribuição assimétrica ou uma distribuição com fortes *outliers*. Nesse sentido foram elaboradas três tabelas no *STATISTICA* (APÊNDICES A1, A2 e A3) a fim de apresentar as medidas de centro e dispersão, para os três poluentes. A Tabela 10 mostra os valores das emissões (pós-catalisador) em termos de medianas por considerá-las mais adequadas para representar os valores típicos dessas emissões.

Tabela 10: Valores típicos das emissões dos gases da exaustão (pós-catalisador)

<i>Combustível</i>	<i>CO(%)</i>	<i>CO₂(%)</i>	<i>HC (ppm)</i>
Gasolina	0,31	14,28	94
Mistura Flex	0,00	15,15	15
GNV	0,02	10,09	93

Um resultado relevante é o fato das emissões de CO para a mistura Flex serem nulas, isso remete a uma tendência de que os veículos Flex foram abastecidos predominantemente com álcool haja vista a combustão desse combustível gerar uma redução significativa desse poluente. Segundo LIN (2004) isso se deve ao efeito do “oxigênio pré-misturado” contido no álcool. Aliado a isso, os veículos que detêm essa tecnologia são veículos com no máximo 5 anos de uso o que favorece uma melhor eficiência catalítica.

6.2 Associação Entre Variáveis

Para se estudar a relação entre duas variáveis, deve-se medir ambas nos mesmos indivíduos. Ao medir os níveis de emissões de CO, CO₂ e HC, de cada veículo, sabe-se que para cada nível de emissão de CO, por exemplo, existe um correspondente de CO₂. Isso permite estudar a ligação entre esses poluentes.

Duas variáveis medidas sobre os mesmos indivíduos são ditas associadas se determinados valores de uma variável tendem a ocorrer com maior frequência juntamente com alguns valores de outra variável, e não quaisquer outros valores daquela. Porém as associações estatísticas são tendências globais, e não regras rígidas. Elas permitem exceções individuais. Embora os fumantes, em média, morram mais cedo do que os não fumantes,

alguns chegam há viver 90 anos, apesar de fumarem três maços de cigarro por dia (MOORE, 2002).

Ao se examinar a relação entre duas variáveis, tem-se por objetivo estudar a natureza desta e verificar se uma dessas variáveis pode explicar variações na outra. A partir disso surge o conceito de variável-resposta, aquela que mede um resultado de um estudo e variável-explanatória, aquela que explica as variáveis respostas ou causa modificações nelas. Em outras palavras a variável-resposta depende da variável-explanatória, a qual seria a independente (MOORE, 2002).

Os princípios que orientam esta seção:

- Iniciar a análise com uma apresentação gráfica
- Procurar padrões gerais e desvios

6.3 Diagramas de Dispersão

A melhor maneira de mostrar relações entre duas variáveis quantitativas é por meio de um gráfico (MOORE, 2002). O tipo mais útil de gráfico para esta finalidade é o diagrama de dispersão. Esse diagrama mostra a relação entre duas variáveis quantitativas medidas sobre os mesmos indivíduos. Os valores de uma das variáveis aparecem no eixo horizontal, e os da outra variável situam-se no eixo vertical. Cada indivíduo, nos dados, é representado pelo ponto no gráfico definido pelos valores de ambas as variáveis a eles correspondentes.

Como dito anteriormente, procura-se nesses gráficos descrever o padrão global e os desvios em relação a esse padrão. Embora isto quase sempre possa ser feito a olho, há métodos mais sistemáticos de determinação do padrão geral. É o que se chama suavização de um diagrama de dispersão (MOORE, 2002).

6.3.1 Emissões de CO x CO₂

De início foi elaborado um gráfico associando-se os níveis de CO₂ x CO, onde a variável-explanatória é o CO₂ e a variável-resposta é obviamente o CO (Figura4).

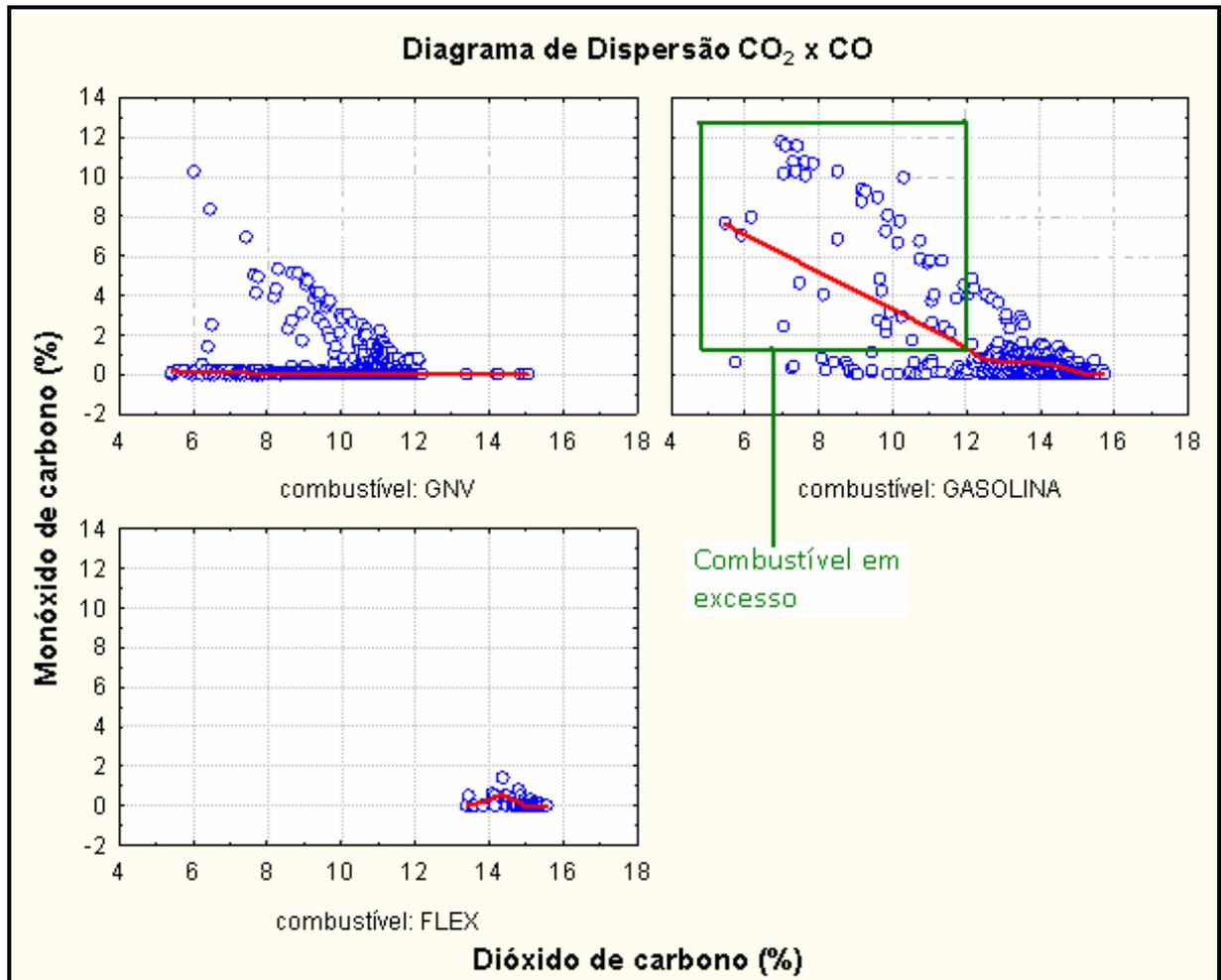


Figura 54: Diagrama de dispersão (CO_2 x CO)

Vale salientar que as curvas de suavização traçadas pelo *STATISTICA* são resistentes, não sendo, pois, afetados por *outliers* no gráfico. Analisando a Figura 4 percebe-se claramente dois conglomerados para o GNV e a Gasolina, bem como partes dispersas, fato este que, a olho, torna-se difícil definir um padrão global de relação entre as variáveis, porém com a introdução das curvas de suavização (curvas em vermelho) torna-se algo bastante simples.

Analisando a associação entre as variáveis, verifica-se uma associação negativa²⁰, pelo menos para as emissões originadas da gasolina, ou seja, à medida que os valores de concentração de CO_2 aumentam, os valores de CO diminuem. Este resultado confirma o que LIN (2004) apresentou em seu artigo, no qual ele afirma que CO e CO_2 têm relação complementar. Nesse mesmo estudo LIN relaciona as concentrações das emissões desses dois gases com o parâmetro λ (relação ar-combustível) e afirma que o parâmetro mais importante que afeta a emissão de CO é a relação ar-combustível. Em geral, com o motor

²⁰ Associação negativa: Duas variáveis dizem-se associadas negativamente quando valores acima da média de uma delas acompanha valores abaixo da média da outra, e vice-versa.

funcionando em condições de mistura rica, os gases da exaustão conterão grande quantidade de CO, porque não há oxigênio suficiente para converter todos os átomos de carbono do combustível em CO₂ (LIN, 2004). Isso permite suscitar que veículos com emissões de CO₂ abaixo de 12% e CO acima de 1,5% (ver Figura4 gasolina) muito provavelmente têm problemas no sistema de controle da mistura ar-combustível. A análise combinada desses dois gases é uma maneira bastante salutar a qual indica prováveis problemas dessa natureza e um indicador de que o veículo pode estar consumindo combustível em excesso.

Porém, para as emissões oriundas do GNV e a mistura Flex os gráficos indicam que variações dos valores de CO₂ não causam variações efetivas nos valores de CO, com estes permanecendo praticamente constantes e muito próximos de zero. Algo já esperado para as emissões do GNV, visto que o produto de sua combustão gera em torno de 90% a menos de CO e 25% menos de CO₂ em relação à gasolina

Quanto à redução significativa das emissões de CO, (valores próximos de zero) a partir de veículos operando com a mistura flex, isso se traduz como um indicativo de tendência dos veículos flex estarem abastecidos predominantemente (no momento da inspeção) com álcool. Esses baixos índices de CO também foram registrados por LIN (2004) em seus experimentos ao utilizar etanol como combustível, que considerou esse resultado como sendo “o efeito de oxigênio pré-misturado” aproximando-se de uma reação completa.

6.3.2 Emissões de HC x CO₂

HC não queimado é produto da combustão incompleta. Esta pode estar relacionada com: (a) problemas de ignição; (b) partículas de óleo absorvidas pelo combustível e (c) a relação ar-combustível (LIN, 2004). Com relação a este último, a emissão de HC mínima acontece no intervalo entre a condição de mistura estequiométrica e ligeiramente pobre, sob a qual existe ar suficiente para fazer os HC's não queimados participar da reação de oxidação. Porém, se a condição da mistura for muito pobre ou muito rica, a emissão de HC se elevará (LIN, 2004).

Analisando a relação (CO₂ x HC), a Figura5 mostra que para os três combustíveis há uma associação negativa bastante clara, ou seja, aumentando-se os valores de concentração do CO₂ os valores de HC tendem a diminuir. Em suma, a partir da Figura5 pode-se inferir que

emissões de HC acima de 200 ppm, para ambos combustíveis, indica prováveis problemas de mistura ou combustão deficiente, pelo menos para gasolina.

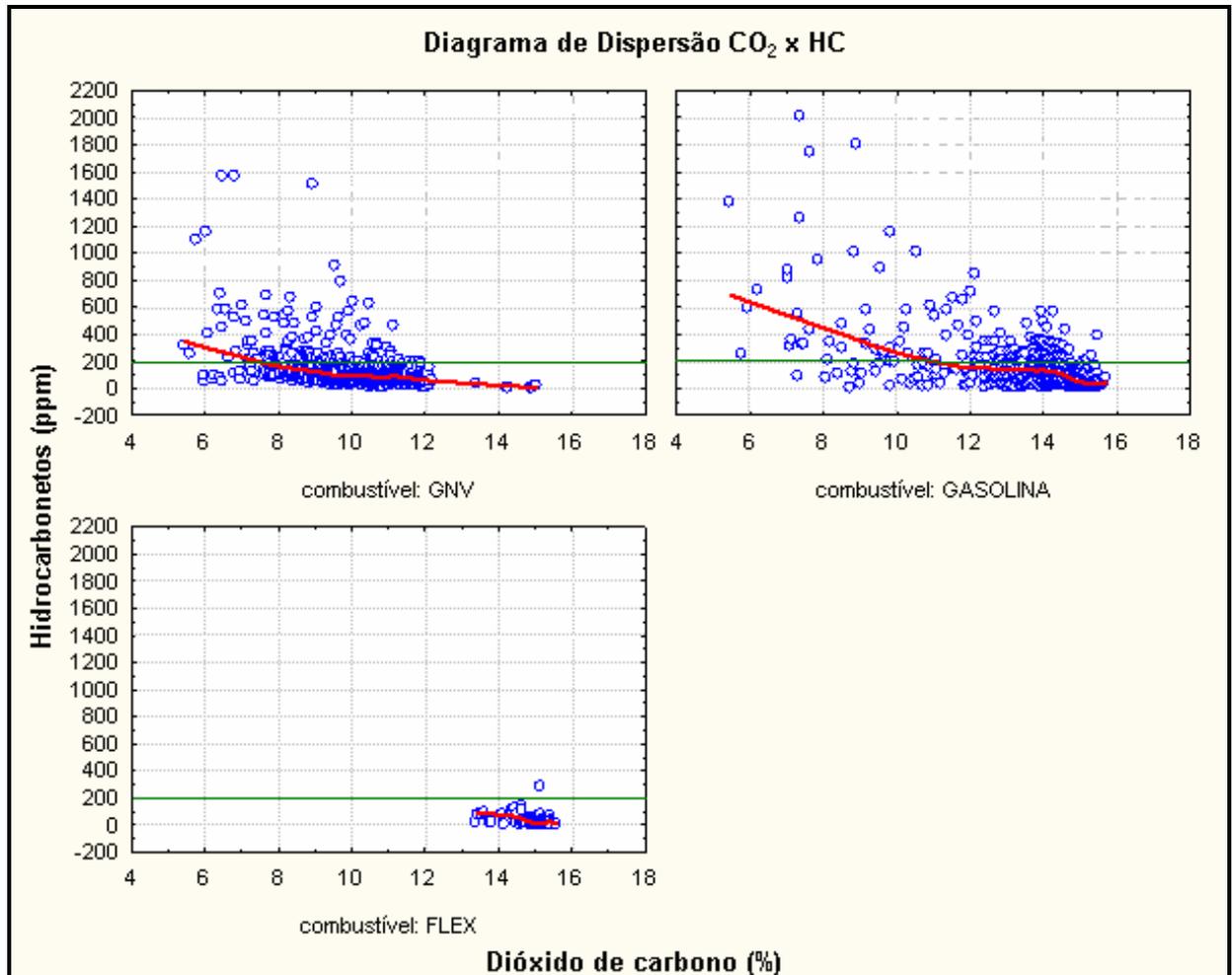


Figura 55: Diagrama de dispersão (CO₂ x HC)

6.4 Associação Entre as Variáveis: Idade (ano-modelo), HC e CO

Em um estudo realizado no Nepal, especificamente no Vale do Kathmandu, baseado em dados de inspeção e manutenção (I/M) de veículos, com moldes semelhantes às inspeções realizadas no Brasil inclusive os desta pesquisa, FAIZ et al (2005) afirmou que a idade do veículo ou o ano-modelo, com exceção dos modelos equipados com catalisador, tem pouca influência nos índices de emissões. FAIZ et al (2005) garante que a retirada obrigatória dos veículos de circulação no vale do Kathmandu, simplesmente baseado na idade de veículo ou modelo, não é uma proposição tecnicamente ou economicamente justificada. Nesse sentido considerou-se pertinente associar os níveis de emissões de HC/CO com a idade dos veículos.

Buscando-se uma noção gráfica das médias de emissões em função da idade dos veículos a Figura 6 apresenta um gráfico de médias das emissões de CO, para todos os veículos em análise, juntamente com a precisão (margem de erro) para um intervalo de 95% de confiança.

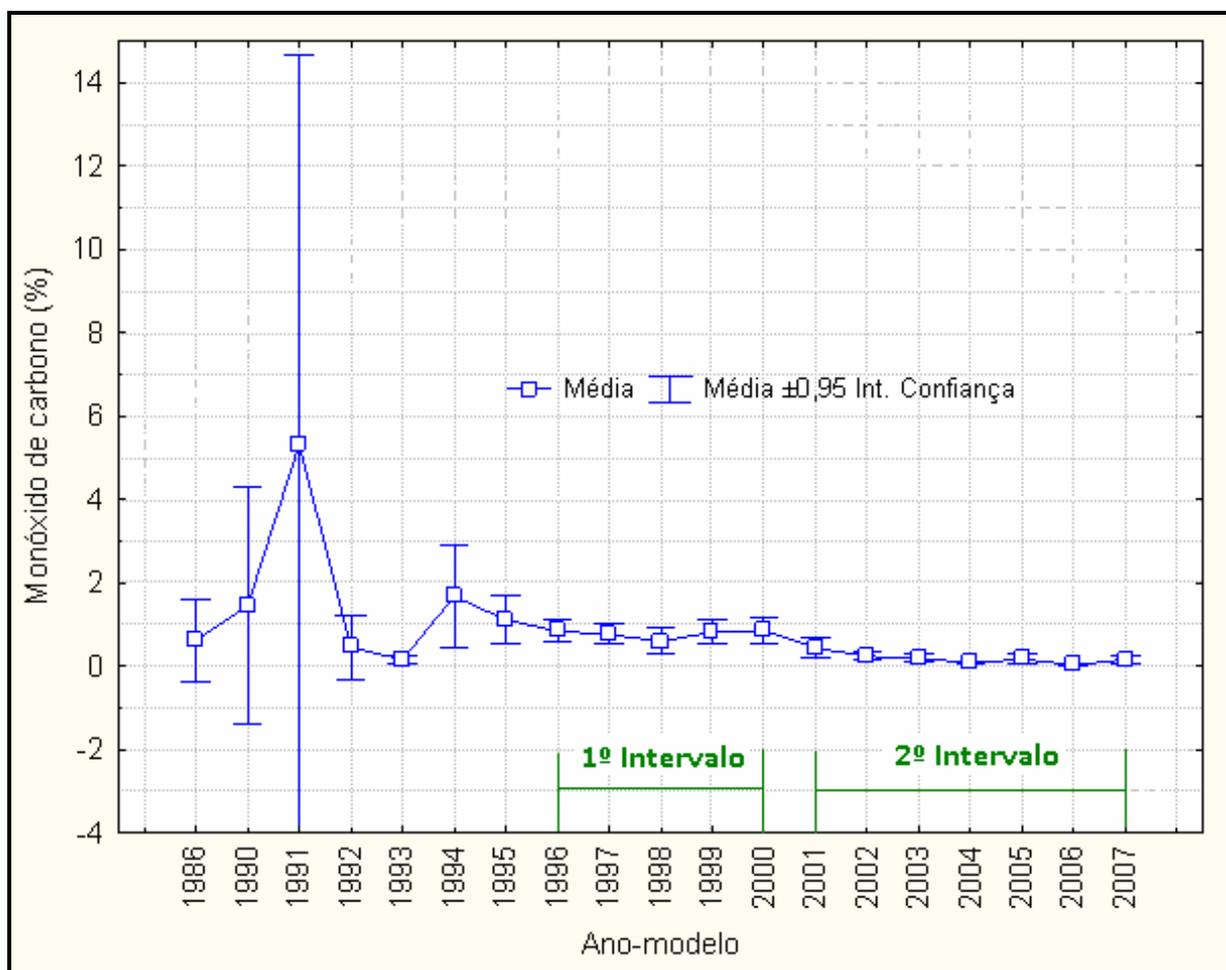


Figura 56: Média de CO em função da idade dos veículos

Observa-se que para faixa de modelos entre 1996 e 2007 tem-se uma margem de erro muito pequena, isso se deve ao fato de haver um maior número de observações para veículos nesta faixa, visto que a margem de erro depende do número de observações da amostra. Para faixa entre 1986 e 1996, a precisão fica prejudicada pelo baixo número de observações, e muito embora se tenha o intervalo de confiança de 95% não se podem considerar médias com margens de erros acentuados (MOORE, 2002).

Analisando a faixa mais precisa (1996 a 2007) verifica-se a partir da Figura 6 que há um acréscimo sensível nas médias das emissões entre 1996 e 2001. Com o auxílio de uma **análise de variância múltipla de um critério** (ANOVA) foi possível confirmar essa evidência. Essa análise constatou uma diferença estatística significativa entre as médias das

emissões de CO entre dois intervalos de idade dos veículos: 1º de 1996 a 2000, com emissão média de CO $\bar{X}=0,77$ e o 2º de 2001 a 2007, com média $\bar{X}=0,18$. Em outras palavras, verificou-se que veículos a partir de seis anos de uso emitem aproximadamente quatro vezes a quantidade de monóxido de carbono que os demais com menos tempo de uso.

Analogamente gerou-se um gráfico para as emissões de HC, Figura 7. De forma geral, o gráfico das emissões de HC apresenta características semelhantes as do gráfico anterior (emissões de CO).

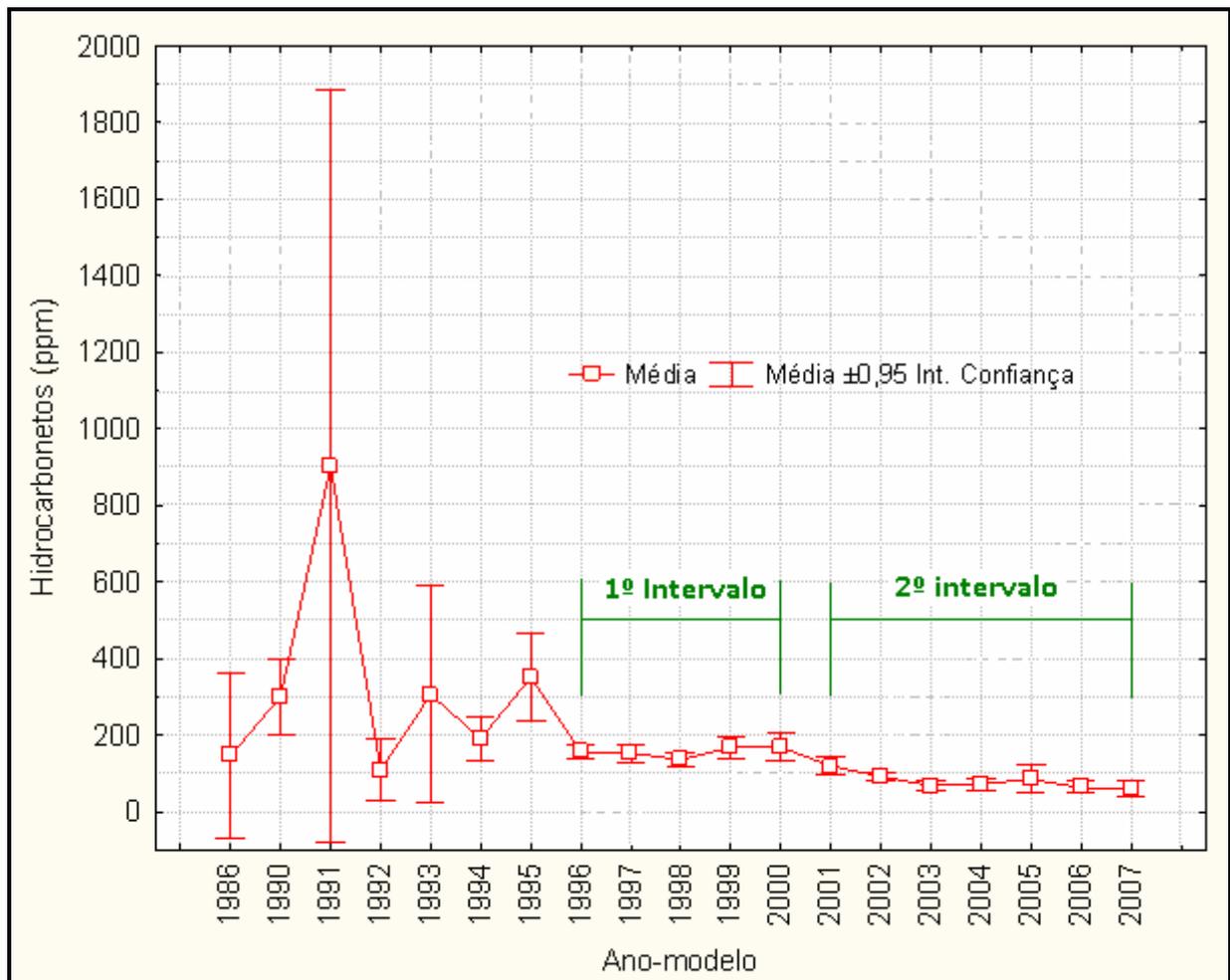


Figura 57: Média de HC em função da idade dos veículos

A partir de então, utilizando-se uma *ANOVA múltipla de um critério* foi constatada uma diferença estatística significativa entre as médias das emissões de HC para os mesmos intervalos de idade observada nas emissões de CO. Na faixa de 1996 a 2000 a média de HC foi $\bar{X}=156$, enquanto que entre 2001 e 2007 foi de $\bar{X}=80$, representando um aumento de quase duas vezes as emissões de HC a partir de veículos com mais de cinco anos de uso.

Em suma, pôde-se concluir que veículos com seis anos de uso em diante emitem algo próximo de 4 (quatro) vezes a quantidade de CO e aproximadamente o dobro de HC. Isso vem comprovar de fato que a vida útil do catalisador é de aproximadamente cinco anos, ou algo por volta de 80.000 km, e que a partir de então a sua eficiência fica comprometida.

6.5 Emissões de CO/HC e Rotação do Motor

Aproveitando o fato de as inspeções serem efetuadas em dois níveis de rotações do motor, ou seja, em *baixa e alta rotação* (900 e 2500 rpm respectivamente), esta seção se dedica à investigação da influência da rotação do motor (na condição sem carga) nas emissões de CO/HC. Inicialmente elaborou-se um gráfico de média/erro a fim de se visualizar os níveis de CO versus rotação do motor.

De acordo com a Figura58 verifica-se uma média maior para emissões de CO em baixa rotação, porém a diferença é menor do que a margem de erro, tornando-se equivocado afirmar categoricamente que a média de CO, em baixa rotação, é maior do que em alta, baseado apenas na análise deste gráfico.

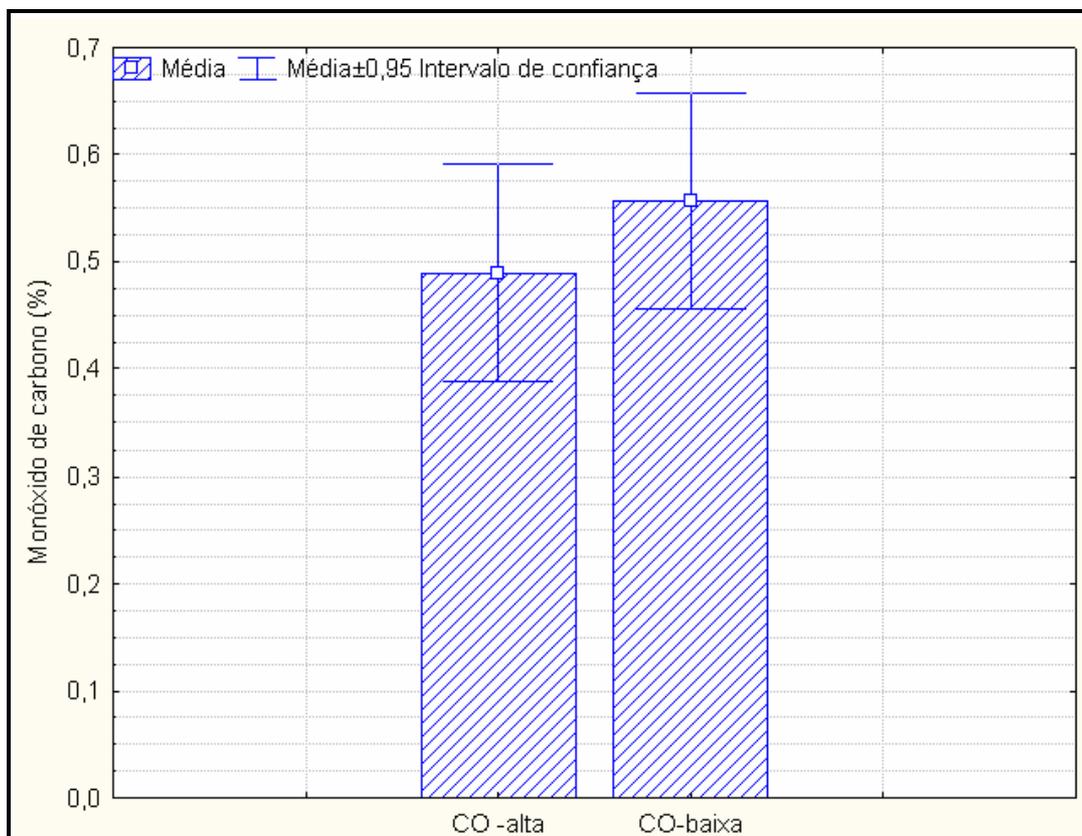


Figura 58: Gráfico de média e margem de erro para HC sob dois níveis de rotação

Nesse sentido, é importante realizar um teste de significância (MOORE, 2002). Então se fez uso do **Teste-T de Student para duas amostras dependentes**, visto que essa ferramenta estatística é recomendada para comparação de duas amostras, obtendo resultados mais seguros mesmo para amostras com assimetrias acentuadas. O objetivo desse teste é o mesmo da ANOVA, porém específico para duas amostras.

O resultado do **Teste-T** não mostra qualquer evidência de diferença entre as emissões de CO em baixa ou alta rotação.

Analogamente aos procedimentos efetuados para as emissões de CO, analisaram-se as emissões de HC. De acordo com a Figura59 verifica-se uma média maior para emissões de HC em baixa rotação, e diferentemente das médias de CO, os dados evidenciam uma média maior para emissões em baixa rotação, fato que será analisado em seguida por meio do **Teste-T para duas amostras dependentes**.

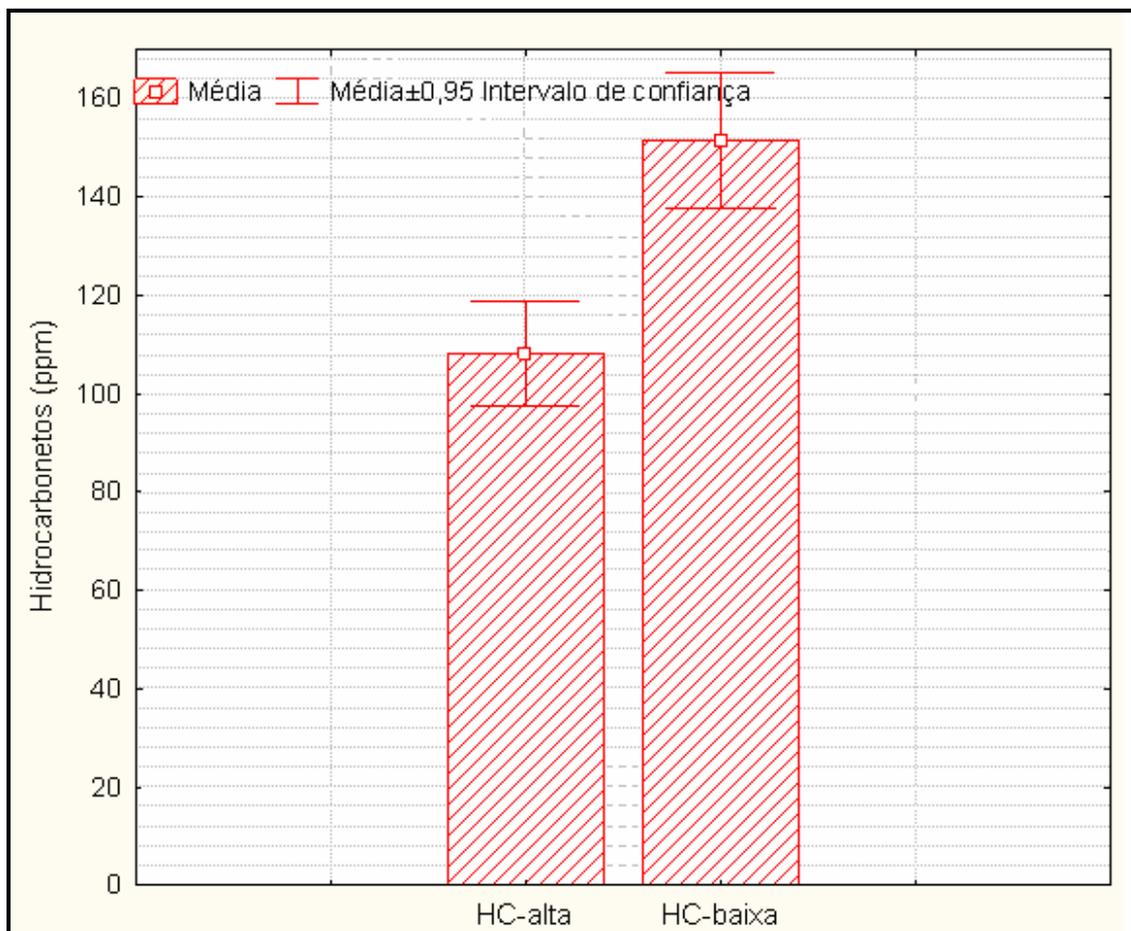


Figura 59: Gráfico de média e margem de erro para CO sob dois níveis de rotação

A partir de um **Teste-T de Student** os dados sugerem fortemente que as emissões de HC em baixa rotação são, em média, 40% maiores do que em alta rotação.

6.6 Emissões de CO/HC e os Combustíveis: GNV, Gasolina e Mistura Álcool/Gsolina

Esta seção visa comparar as emissões de CO e HC entre os três combustíveis. De forma similar a seção anterior um gráfico de média/erro ajuda a visualização das diferenças de médias para cada combustível. A Figura 60 revela que a média da emissão de CO para gasolina é quase 3 (três) vezes a média de CO para o GNV ($\bar{X}=0,32$) e em torno de 11 (onze) vezes a média da mistura flex ($\bar{X}=0,06$).

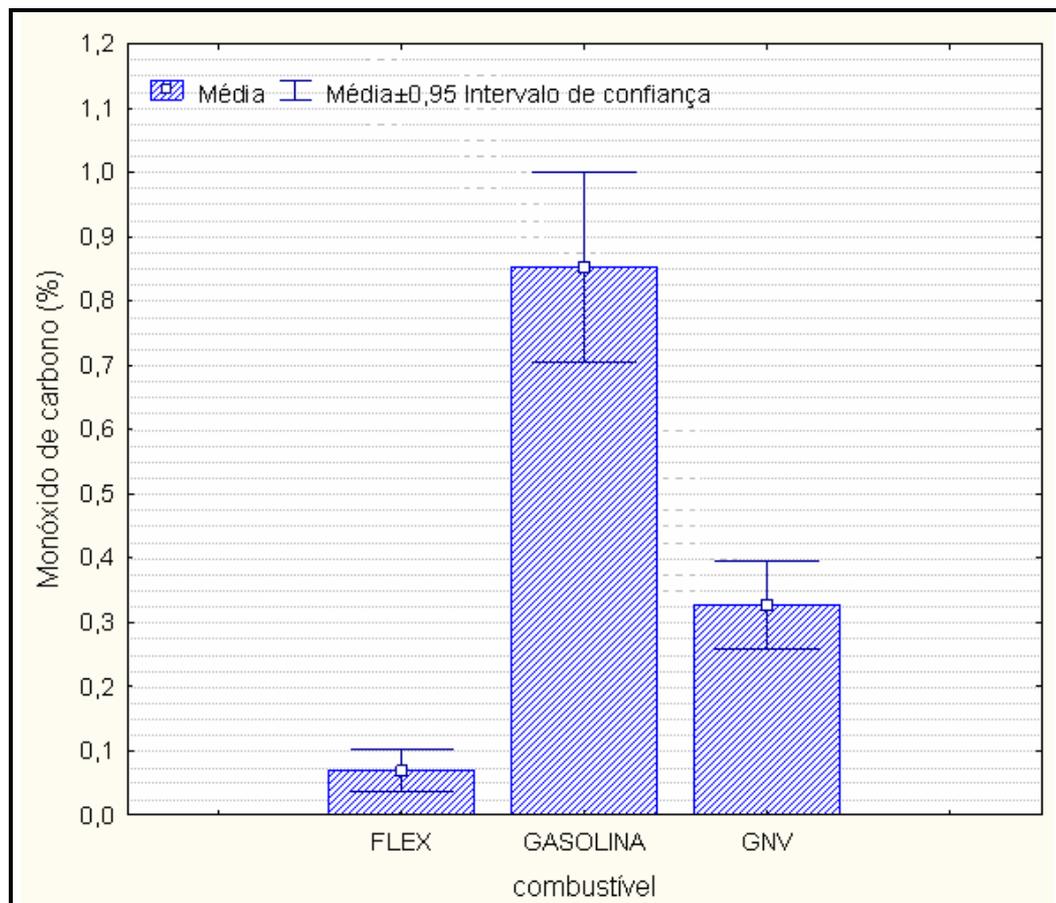


Figura 60: Gráfico de média e margem de erro para CO a partir de 3 Combustíveis

A fim de se obter uma análise mais precisa, contou-se novamente com o auxílio de uma **análise de variância múltipla de um critério** (ANOVA), a qual constatou uma diferença estatística significativa (5% de significância) entre as emissões de gasolina e as demais. Em outras palavras, as emissões de CO a partir do GNV são em média 62% menores do que as da gasolina e 92% menores quando oriundas da mistura flex. Essa redução nos índices de CO (a partir da mistura flex) confirma o que (LIN, 2004) observou em seu estudo, no qual credita essa redução ao fenômeno do enriquecimento de oxigênio contido no etanol, causado pelo efeito do oxigênio pré-misturado. Já a redução das emissões de CO oriundas do

GNV se deve ao fato desse combustível ser composto principalmente por metano (mais de 90% de CH_4). Isso implica que na reação de combustão desse combustível naturalmente ocorre uma redução sensível nas emissões de CO.

Contudo, WINKLER em 2008 estudou as emissões originadas do GNV e concluiu que as emissões de HC quase exclusivamente se compõem de metano. Nesse sentido foram analisadas as emissões de HC também com o auxílio do gráfico de média/erro (Figura1) do qual se pode inferir que as médias das emissões de gasolina e GNV se confundem e são em torno de seis vezes a média das emissões provenientes da mistura flex (28 ppm).

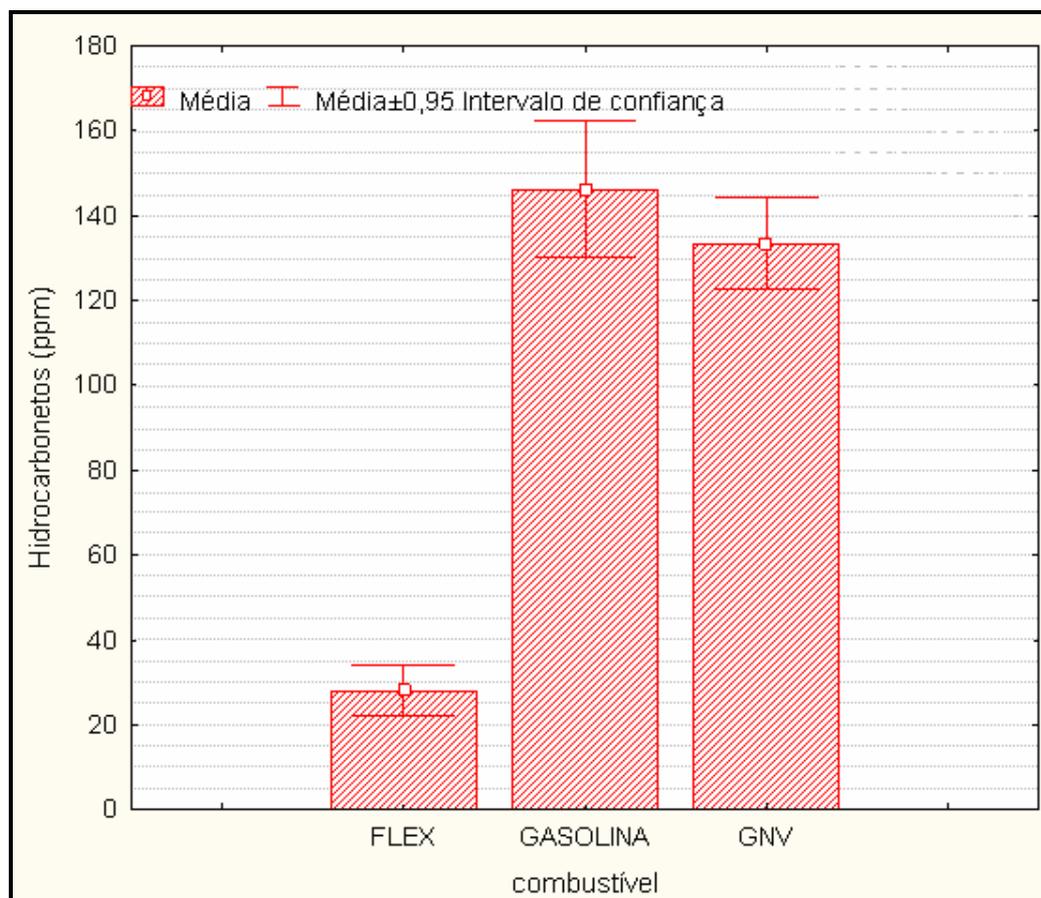


Figura 61: Gráfico de média e margem de erro para HC a partir de 3 combustíveis

Ainda com o uso da ANOVA pôde-se concluir que não há diferença estatística significativa entre as médias das emissões de HC tanto para gasolina quanto para o GNV. Isso se explica devido ao fato de o metano – principal componente do GNV – ser um dos hidrocarbonetos mais difíceis para se oxidar cataliticamente. Somando-se a isso o fato das temperaturas dos gases de exaustão de motores a GNV serem mais baixas em comparação a veículos a gasolina, desfavorecendo mais adiante a conversão catalítica (WINKLER, 2008).

7 CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo podem ser assim sumariadas:

1. Os resultados de um Test-T de Student revelaram que na condição sem carga, os veículos emitem em torno de 40% a mais de HC a 900 rpm do que a 2.500.
2. Ao associar as emissões de CO e HC à idade dos veículos, uma análise de variância (ANOVA) mostrou que veículos com seis anos de uso em diante emitem aproximadamente 4 (quatro) vezes a quantidade de CO e aproximadamente o dobro de HC em comparação com os veículos mais novos.
3. Os resultados das associações de CO e CO₂ (para gasolina) confirmam a existência de uma relação complementar entre esses dois gases anunciadas por LIN (2004). Ou seja, a análise combinada desses dois gases é uma maneira a qual indica prováveis problemas no controle da mistura ar-combustível e um indicador de que o veículo pode está consumindo combustível em excesso.
4. Índices de CO próximos de zero, a partir de veículos operando com mistura flex, apontaram uma tendência de que os veículos da modalidade flex, pelo menos durante a inspeção, estavam abastecidos predominantemente com Álcool.
5. Ao comparar as emissões de Gasolina com as de GNV, a análise de variância (ANOVA) revelou que não há diferença significativa entre as emissões de HC originadas por esses combustíveis.
6. Contrariamente ao que ocorre com veículos a gasolina, com GNV ou mistura flex, variações dos valores de CO₂ não causam variações efetivas nos valores de CO, com estes permanecendo praticamente constantes e muito próximos de zero.
7. As fortes assimetrias encontradas na maioria das distribuições amostrais das emissões impedem que valores de médias sejam adotados para representar valores típicos de emissões. Portanto, os valores de mediana (Tabela 10) representam adequadamente os valores típicos de HC e CO.

Em síntese, os resultados apontam para uma revisão dos atuais limites de emissões padrão adotados pelo Programa de Manutenção e Inspeção de Veículos em Uso – I/M, conduzindo a criação de limites de emissão de poluentes mais rigorosos, visto que a eficiência dos conversores catalíticos é sensivelmente reduzida a partir de 6 anos de uso. Suscita-se

também a possibilidade de se adotar limites para emissão de aldeídos provenientes de veículos detentores da tecnologia flex além de CO e HC já existentes.

Adicionalmente, propõem-se possíveis alterações nas condições de teste adotadas pelas NBR-13539 e 13540, nas quais se baseia os procedimentos atuais de inspeção para veículos em uso. Programa I/M, especificamente na rotação do motor, haja vista que na condição sem carga os maiores índices de emissão foram registrados em marcha lenta. Isso permite sugerir a dispensa dos testes em altas rotações, reduzindo à metade o tempo de inspeção e gerando economia de combustível

Para desenvolvimento de trabalhos futuros sugere-se a análise das emissões em condições que possibilitem variar não só níveis de rotação do motor bem como carga, através de linhas de inspeção equipadas com dinamômetros. Além disso, é pertinente a realização de um estudo de emissões a partir de medidas de concentrações dos gases obtidas antes do conversor catalítico bem como o monitoramento da mistura ar-combustível. Ou mesmo, um estudo nos mesmos moldes, porém com uma ênfase na influência da mistura álcool/gasolina nas emissões dos gases da exaustão em veículos com motorização flex.

REFERÊNCIAS

BLUMRICH, Stephan. Gerente de Tecnologia de Aplicação e Industrial da OMG, principal fabricante de catalisadores automotivos. Catalisador. Entrevista concedida ao site AutoZ.[200?] Disponível em:<http://www.autoz.com.br>

BOIM, Anderson Albert. Chefe de oficina da concessionária Covenac, autorizada Volkswagen. Entrevista concedida ao site AutoZ.[200?] Disponível em:<<http://www.autoz.com.br>>

BOUBEL, Richard W, et al. **Fundamentals of Air Pollution**. 3ª Edition. San Diego. California: Elsevier. 1994.

BRITO, Hermínio Pereira de. **Análise das emissões atmosféricas por veículos automotores em Natal-RN**. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

CÂMARA, Júlio César Chaves. **Monitoramento eletrônico da mistura ar / combustível em motores de combustão interna ciclo Otto**. 2006. 168 f. Dissertação (Mestrado em mecatrônica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2006.

CETESB. **Inventário de emissão veicular** – metodologia de cálculo. Mimeo. 1999.

COSTA, M.; SANTOS, H. **Evaluation of the conversion efficiency of ceramic and metallic three way catalytic converters**. Energy Conversion & Management. Portugal. 2007

DETRAN. Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Norte. **Relatório de Estatística**. 2008. Disponível em <www.detran.rn.gov.br>

FAIZ, Asif; et al. **The role of inspection and maintenance in controlling vehicular emissions in Kathmandu valley**, Nepal. Atmospheric Environment. Nepal. 2005.

FIATTECH, Fiat automóveis S.A. Programa de treinamento interativo. Volume 1. 1996 – (Informação pessoal).

GARRETT, T. K., et al. **The Motor Vehicle**. 13ª Edition. Reed Educational and Professional Publishing Ltd. London, England. 2001.

GIMÉNEZ, José L. **Characterization of On-Road Vehicle NO Emissions by a TILDAS Remote Sensor** 1999.

JOSEPH, Henry Jr. 2003. Gol total flex. APRESENTAÇÃO A IMPRESSA. Volkswagen do Brasil S.A. material recebido via e-mail. Journal of the Air & Waste Management Association. USA. 1999.

LIN, Ta-Hui; et al. **The influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels.** Atmospheric Environment. Taiwan. 2004.

LORA, Electo Silva, et al. Curso: **Fundamentos de termodinâmica aplicados à geração termelétrica.** Termoaçu S.A. Assu-RN. Fupai. 2009.

MACHADO, Guilherme B, et al. **Utilização de gás natural em motores e cenário do uso no Brasil.** Universidade Petrobras. CENPES.2007. Disponível em:<http://www2.petrobras.com.br/minisite/premiotecnologia/pdf/TecnologiaGas_GasNatural_Motores.pdf>

MENDES, Francisco Eduardo. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil.** 2004. 179 f.Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

MOORE, David S; McCABE, George P. **Introdução à prática da estatística.** 3ª Edição. Rio de Janeiro-RJ. 2002.

NAPOLETANO, Carlos Neto. Diretor-técnico da TEC Center - Centro Técnico Automotivo e gerente de treinamento da INTEA do Brasil. Matéria publicada no site Oficina Brasil. [200?] Disponível em <<http://www.oficinabrasil.com.br>>

PROCONVE, Ibama. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores.** 2ª Edição. Brasília: IBAMA, 1998.

PROCONVE, **Avaliação do Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

SANTOS, Antônio Carlos Dias. Curso de medição de emissões veiculares. Rio de Janeiro-RJ. FEEMA.2007.

SCHWOB, Marcelo, et al. **Avaliação e otimização de dispositivos de conversão e adaptação de motores para o gás natural**. 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETROLEO E GÁS. 2003. Disponível em:
<<http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/2/5011.pdf>>

SZWARCFITER, Lila. **Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota**. 2004. 260 f. Tese (Doutorado em Ciências em planejamento energético) - Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TIEGANG, Hu; et al. **Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends**. Applied Thermal Engineering. China. 2007.

WINKLER, Alexander; et al. **Catalytic activity and aging phenomena of three-way catalysts in a compressed natural gas/gasoline powered passenger car**. Applied Catalysis B: Environmental. Switzerland.2008.

YING, Wang; LONGBAO, Zhou. **Experimental study on exhaust emissions from a multi-cylinder DME engine operating with EGR and oxidation catalyst**. Applied thermal engineering. China. 2007.

CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6023**: Informação e Documentação – referências e Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6027**: Informação e documentação – Sumário - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10520**: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

FILHO, Domingos Parra e SANTOS, João Almeida. **Apresentação de trabalhos Científicos: Monografia, TCC, Teses e Dissertações**. 3ª Edição. São Paulo. Futura 2000.

OGLIARI, Paulo José; PACHECO, Juliano Anderson. **Análise Estatística usando o STATISTICA 6.0**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. Florianópolis-SC Disponível através de email: ogliari@inf.ufsc.br

APÊNDICES

A1- Medidas estatísticas para CO

<i>Combustível</i>	<i>CO (%) Média</i>	<i>CO Nº Obs</i>	<i>CO (%) Desv-Pad</i>	<i>CO (%) Min</i>	<i>CO (%) Max</i>	<i>CO (%) Q25</i>	<i>CO (%) Mediana</i>	<i>CO (%) Q75</i>
GNV	0,327193	766	0,968558	0,00	10,31000	0,000000	0,020000	0,130000
GASOLINA	0,852828	633	1,892876	0,00	11,82000	0,010000	0,310000	0,680000
FLEX	0,069231	130	0,189027	0,00	1,46000	0,000000	0,000000	0,020000

A2 - Medidas estatísticas para CO₂

<i>Combustível</i>	<i>CO₂ (%) Média</i>	<i>CO₂ Nº Obs</i>	<i>CO₂ (%) Desv-Pad</i>	<i>CO₂ (%) Min</i>	<i>CO₂ (%) Max</i>	<i>CO₂ (%) Q25</i>	<i>CO₂ (%) Mediana</i>	<i>CO₂ (%) Q75</i>
GNV	9,99380	766	1,428203	5,43000	15,05000	9,19000	10,09000	11,03000
GASOLINA	13,73084	633	1,914902	5,45000	15,70000	13,29000	14,28000	15,05000
FLEX	15,02700	130	0,412556	13,41000	15,58000	14,99000	15,15000	15,26000

A3- Medidas estatísticas para HC

<i>Combustível</i>	<i>HC (ppm) Média</i>	<i>HC Nº Obs</i>	<i>HC (ppm) Desv-Pad</i>	<i>HC (ppm) Min</i>	<i>HC (ppm) Max</i>	<i>HC (ppm) Q25</i>	<i>HC (ppm) Mediana</i>	<i>HC (ppm) Q75</i>
GNV	133,4426	766	152,2980	8,000000	1562,000	59,00000	93,00000	152,0000
GASOLINA	146,2243	633	205,5971	5,000000	2010,000	30,00000	94,00000	183,0000
FLEX	28,0308	130	34,4142	4,000000	289,000	11,00000	15,50000	27,0000

A4 - Resultado do test-t para duas amostras dependentes para CO

<i>Teste T para amostras dependentes – Diferenças são significativas para valores p < 0,05</i>								
	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>N</i>	<i>Diferença</i>	<i>DesvPad</i>	<i>t</i>	<i>GL</i>	<i>p</i>
CO -alta	0,489843	1,429454						
CO-baixa	0,556584	1,425594	764	-0,066741	1,620269	-1,13855	763	0,255249

A5 - Resultado do test-t para duas amostras dependentes para HC

<i>Teste T para amostras dependentes – Diferenças são significativas para valores p < 0,05</i>								
	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>N</i>	<i>Diferença</i>	<i>DesvPad</i>	<i>t</i>	<i>GL</i>	<i>p</i>
HC-alta	108,2107	148,3657						
HC-baixa	151,4791	193,6599	764	-43,2683	217,3819	-5,50166	763	0,000000

A6 – Resultado da análise de variância múltipla de um critério (ANOVA) considerando a Idade dos veículos e a emissão de CO

Tukey HSD test; variable Monóxido de carbono (%) (TABELA COMPLETA.sta) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,6507, df = 1423,0 Include condition: v2>=1996							
Cell No.	ano-modelo	Monóxido de carbono (%) Mean	1	2	3	4	
11	2006	0,028621	****				
9	2004	0,078864	****	****			
12	2007	0,160288	****	****			
10	2005	0,170000	****	****			
8	2003	0,196696	****	****			
7	2002	0,236875	****	****		****	
6	2001	0,437554	****	****	****	****	
3	1998	0,593551		****	****	****	
2	1997	0,762437			****	****	
4	1999	0,820379			****	****	
1	1996	0,843650			****		
5	2000	0,857721			****		

A7 – Resultado da análise de variância múltipla de um critério (ANOVA) considerando a Idade dos veículos e a emissão de HC

Tukey HSD test; variable Hidrocarbonetos (ppm) (TABELA COMPLETA.sta) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 19491, , df = 1423,0 Include condition: v2>=1996							
Cell No.	ano-modelo	Hidrocarbonetos (ppm) Mean	1	2	3	4	
12	2007	61,3365	****				
11	2006	63,8448	****				
8	2003	68,7232	****				
9	2004	72,8750	****		****		
10	2005	85,7339	****		****		
7	2002	92,8250	****		****	****	
6	2001	120,4173	****	****	****	****	
3	1998	136,0561		****	****	****	
2	1997	154,0563		****		****	
1	1996	157,0730		****			
4	1999	168,5682		****			
5	2000	168,9853		****			

A8 – Resultado da análise de variância múltipla de um critério (ANOVA) considerando os combustíveis e emissão de CO

Tukey HSD test; variable Monóxido de carbono (%) (TABELA COMPLETA.sta) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,9572, df = 1526,0						
Cell No.	combustível	Monóxido de carbono (%) Mean	1	2		
1	FLEX	0,069231	****			
3	GNV	0,327193	****			
2	GASOLINA	0,852828		****		

A9 – Resultado da análise de variância múltipla de um critério (ANOVA) considerando os combustíveis e emissão de HC

Tukey HSD test; variable Hidrocarbonetos (ppm) (TABELA COMPLETA.sta) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 29234,, df = 1526,0						
Cell No.	combustível	Hidrocarbonetos (ppm) Mean	1	2		
1	FLEX	28,0308		****		
3	GNV	133,4426	****			
2	GASOLINA	146,2243	****			

ANEXO

Certificado de Calibração do Analisador de Gases



MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

Table with 4 columns: DOC., EXECUTOR, Nº DO CERTIFICADO, DV. Values: 19, 810, 12.943.286. Second row: METROL, SERVIÇO, RESUL., DATA DA VERIFICAÇÃO. Values: 008, 0226, 4, 23/04/07

ANALISADOR DE EMISSÃO DE GASES VEICULAR

ESTE CERTIFICADO DEVE PERMANECER NO ESTABELECIMENTO SENDO OBRIGATORIA SUA EXIBIÇÃO SEMPRE QUE SOLICITADA

Form fields: MARCA (SUN), MODELO (1655500PE), Nº DO INMETRO (4045992-5), Nº DA GUIA (58311), VALOR (234,00), Nº DE SÉRIE (17-A1027), OUTRAS CARACTERÍSTICAS (PEF 0,517), C.N.P.J. OU C.P.F. (05.633790000166)

Form fields: NOME OU RAZÃO SOCIAL (INSPERANS INST. DE PESQUISA, ENGENHARIA E TRANSPORTE LTDA), ENDEREÇO (AV. INT. MARIÓ CAMARA 2368), CÓDIGO GEOGRÁFICO (59060600), BAIRRO / DISTRITO (CIDADE DA ESPERANÇA), CIDADE / MUNICÍPIO (NATAL), U.F. (RN)

Form fields: INSTRUMENTO OU MEDIDA (LACRE Nº A 4563086 - A 4563090), MARCA DE VERIFICAÇÃO Nº 0.098019-

ESTE INSTRUMENTO OU MEDIDA FOI EXAMINADO PELO INMETRO SENDO APROVADO

Form fields: PARA USO DO ÓRGÃO EMISOR (IPEM-RN / INMETRO), Gerente Operacional - Mat. 008 (Vicente Z. da Costa Filho), ESTA VIA NÃO VALE COMO RECIBO, VALIDADE 23/04/08

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)