



**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESEMPENHO DE SONDAS LAMBDA NO MONITORAMENTO DE  
MOTORES DO CICLO OTTO ALIMENTADOS POR ETANOL E GNV.**

**César Roberto Cruz**

**Bauru/SP**

**2015**

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**César Roberto Cruz**

DESEMPENHO DE SONDAS LAMBDA NO MONITORAMENTO DE  
MOTORES DO CICLO OTTO ALIMENTADOS POR ETANOL E GNV.

Dissertação apresentada para obtenção  
do Título de Mestre em Engenharia  
Mecânica no Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Mecânica da  
Faculdade de Engenharia da UNESP -  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de  
Mesquita Filho”.

Orientador:

Prof. Dr. Cesar R. Foschini

**Bauru/SP**

**2015**

Cruz, César Roberto.

Desempenho de sondas Lambda no monitoramento de motores do ciclo Otto alimentados por etanol e GNV / César Roberto Cruz, 2015

Total de folhas, 108 : il.

Orientador: Dr. Cesar Renato Foschini

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015

1. Oxido de zircônia. 2. Sensor de oxigênio. 3. Sonda Lambda. 4. Emissões. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CESAR ROBERTO CRUZ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 07 dias do mês de julho do ano de 2015, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. CESAR RENATO FOSCHINI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. DÉLSON LUIZ MÓDOLO do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. CARLOS ALBERTO FORTULAN do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Escola de Engenharia de São Carlos-Usp, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CESAR ROBERTO CRUZ, intitulado "ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS SENSORES DE ZIRCÔNIA NA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NOS GASES DE EXAUSTÃO EM APLICAÇÕES AUTOMOTIVAS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. CESAR RENATO FOSCHINI



Prof. Dr. DÉLSON LUIZ MÓDOLO



Prof. Dr. CARLOS ALBERTO FORTULAN



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:  
**CESAR ROBERTO CRUZ**

DE: "ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS SENSORES DE ZIRCÔNIA NA MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO NOS GASES DE EXAUSTÃO EM APLICAÇÕES AUTOMOTIVAS"

PARA:

"Desempenho de sondas  $\lambda$  no monitoramento de  
motores do ciclo Otto alimentados por  
etanol e GNV"

Bauru, 07 de julho de 2015



Prof. Dr. Cesar Renato Foschini  
Orientador

## **DEDICATÓRIA**

A minha mulher Liliane e ao meu filho Luigi pelo apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Prof. Dr. Cesar Renato Foschini pelo incentivo, grande profissionalismo e ensinamentos e orientação durante toda a realização deste trabalho.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (FEB/UNESP), nas pessoas do Prof. Dr. Luiz Eduardo de Angelo Sanchez e Prof. Dr. Vicente Luiz Scalon, respectivamente Coordenador e Vice coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

Ao Diretor da Faculdade de Engenharia Prof. Dr. Edson Antonio Capello Sousa

Aos docentes Prof. Dr. Carlos Alberto Soufen, Prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves, Prof. Dr. Ivaldo de Domenico Valarelli, Prof. Dr. João Candido Fernandes, Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves e Prof. Dr. Yukio Kobayashi.

Ao Prof. Dr. Délson Luiz Módolo pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Mucillo - IPEN-SP - pela colaboração nos ensaios.

Ao Sr. Lorenzo Piccolli e Sr. José Antônio Soares da Tecnomotor Distribuidora S/A pelo apoio técnico e a disponibilização dos equipamentos para aquisição dos dados dos ensaios.

A FIAT AUTOMOVEIS S/A na pessoa do Sr. Jefferson Augusto Gomes da Divisão ISVOR - FIAT por disponibilizar os recursos materiais como motores, veículos e componentes necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao SENAI-SP nas pessoas do Sr. Ademir Redondo, Diretor da Escola SENAI “João Martins Coube”, do Sr. Tiago Roberto Ferreira – Coordenador Técnico, Sr. Edson da Silva e Benedito Aparecido Bautz Martins – Orientadores de Prática Profissional e o Sr. Robson Brosler, por permitir a utilização das instalações, equipamentos e demais recursos para a realização dos ensaios deste trabalho.

## RESUMO

Com aumento do número de veículos automotores em circulação, a quantidade de poluentes lançados no nosso planeta é muito significativa, sendo um risco real ao nosso meio ambiente. Vários avanços tecnológicos têm sido apresentados nos últimos anos, objetivando a redução destas emissões. As cerâmicas têm desempenhado um papel primordial neste cenário. Dentre estas, encontra-se o sensor de oxigênio que utiliza a zircônia ( $ZrO_2$ ) como eletrólito sólido, componente do sistema de gerenciamento eletrônico do motor do ciclo Otto, e elemento primordial na estratégia de reduzir as emissões e o consumo de combustível. Neste trabalho analisou-se o desempenho de quatro sensores de marcas líderes no mercado, com países de origem diferentes, originalmente desenvolvidos para operar com gasolina pura se comportam com combustíveis de uso alternativo, com composição química e fases distintas, Etanol (líquida) e GNV (gasosa). Instalados em um motor do ciclo Otto de 4 tempos, dotado de sistema de gerenciamento eletrônico multicomcombustível (Tetrafuel) original de fábrica, funcionando de forma autônoma ao veículo, operando em duas rotações predefinidas. Foram coletados e registrados os seguintes dados operacionais: sinal elétrico, tempo de resposta, temperatura de operação, e emissões de gases. Os valores obtidos nas etapas estipuladas foram tabulados e posteriormente analisados. Quando utilizado o Etanol como combustível, as tensões médias nas duas rotações foram menores que as observadas utilizando-se o GNV, a temperatura na região do sensor também se apresentou superior para o Etanol. O tempo médio de resposta para o Etanol foi superior ao GNV. Analisando as emissões geradas, concluímos que as mesmas estão de acordo com o preconizado na legislação vigente, indicando que o sistema de gerenciamento eletrônico do motor e consequentemente os sensores de oxigênio avaliados, cumprem plenamente e de forma adequada suas funções, mesmo com o uso de combustíveis distintos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Oxido de zircônia, Sensor de oxigênio, Sonda Lambda, Emissões.



## **LAMBDA PROBES IN MONITORING OF SPARK IGNITION ENGINES FUELED BY ETHANOL AND CNG.**

### **ABSTRACT**

With the increasing number of motor vehicles in circulation, the amount of pollutants released in the atmospheric air is very significant, being a real risk to our planet. People concerned about the consequences resulting from this problem have charged effective actions in order to minimize the impact of pollution generated and the preservation of the life quality on our planet. Significant technological advances have been made in recent years, both in the forms of propulsion, when on reducing emissions by engines. The development and adoption of new materials, both in construction, or in the control of the several systems, is one of the bases of this major development. Among these materials, the ceramics have played a very important role in this scene, whose applications are enabling the achievement of the proposed objectives. This work focuses primarily about the oxygen sensor using zirconia ( $ZrO_2$ ) as basic element. Also known as lambda sensor, it is used in automobiles to control along with the electronic management system of the engine, of air-fuel ratio, in order to reduce the emissions and the fuel consumption in internal combustion engines of Otto and Diesel cycles. It is installed in the exhaust gas system and aims to measure the residual oxygen content in gases produced by the engine. In this work we analyzed the performance of these sensors in measuring the concentration of residual oxygen content in the exhaust gases when installed on an Otto cycle engine, 4 stroke, endowed with electronic multi fuel management system (Tetrafuel), installed independently to the vehicle on a test bench, operating distinctly with liquid fuel (ethanol) and gas (CNG), in two predefined speeds. In this work, we will present its composition, construction, operating principles and performance in a real operating situation, of four sensors of different manufacturers allowing the understanding of its interaction with the electronic management system and the analysis of its separate performances.

**KEYWORDS:** Zirconia, oxygen sensor, Lambda, emissions.

## PUBLICAÇÕES

1 - CRUZ, C.R., SANCHEZ. L.E.A., FOSCHINI, C.R., Analysis of Zirconium Dioxide ( $ZrO_2$ ) sensors for measurement of oxygen concentration in the exhaust gases for automotive and industrial applications. In: 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013). ISSN 2176-5480. Ribeirão Preto - SP. November 3-7, 2013.

2 - CRUZ, C.R., SANCHEZ. L.E.A., MUCCILLO, R., FOSCHINI, C.R., Analysis of Zirconium Dioxide ( $ZrO_2$ ) sensors for measurement of oxygen concentration in the exhaust gases for automotive applications. In: 6th International Conference on Electroceramics (ICE 2013). João Pessoa - PB. November 9-13, 2013.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Evolução do uso de sensores automotivos (MENS). [7] .....	2
Figura 2.1 – Sensor de oxigênio tipo dedal (Bosch). [20].....	9
Figura 2.2 – Diagrama de fase - $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ . [17] .....	10
Figura 2.3 – Limites tri-fase entre o eletrodo, eletrólito e o gás. [32].....	11
Figura 2.4 – MEV dos poros do eletrodo Pt/YSZ. [35] .....	12
Figura 2.5 – MEV Substrato YSZ sinterizado a 1773 K. ....	13
Figura 2.6 – MEV Eletrodo de platina sinterizado a 1273 K.....	13
Figura 2.7 – MEV Interface entre o eletrodo e o eletrólito. [31].....	13
Figura 2.8 – Potência x consumo x relação A/C. [38] .....	14
Figura 2.9 – Curva de consumo específico. [38].....	15
Figura 2.10 – Layout do sistema de gerenciamento eletrônico do motor. [38].	17
Figura 2.11 – Diagrama de blocos, sistema gerenciamento eletrônico. [42]....	18
Figura 2.12 – Curva do consumo específico x função do desempenho. [45]...	22
Figura 2.13 – Coeficiente de ar $\lambda$ x composição dos poluentes. [37], [38] .....	23
Figura 2.14 – Controle em malha fechada. [8][38] .....	24
Figura 2.15 – Controle em malha fechada. [41] .....	25
Figura 2.16 – Resultados teóricos da queima de um combustível. [38] .....	26
Figura 2.17 – Resultados reais de combustão. [38].....	26
Figura 2.18 – Composição dos gases de exaustão. [38] .....	27
Figura 2.19 – Composição da porção 1% poluente. [38] .....	27
Figura 3.1 – Curva de potência e torque – Etanol. [55].....	34
Figura 3.2 – Curva de potência e torque – GNV. [56] .....	35
Figura 3.3 – Sensor S1 - NTK. [36].....	36
Figura 3.4 – Sensor S2 - BOSCH. [36] .....	36
Figura 3.5 – Sensor S3 - DELPHI. [36] .....	37
Figura 3.6 – Sensor S4 - THOMSON. [36].....	37
Figura 3.7 – Sensor de oxigênio e detalhes interno. [57] .....	38
Figura 3.8 – Sensor tipo dedal e indicação da área analisada. [36].....	38
Figura 3.9 – Superfície do sensor. [36] .....	39
Figura 3.10 – Topografia do sensor. [36] .....	39

Figura 3.11 – Gráfico 3D - topografia superficial do sensor de O <sub>2</sub> . [36] .....	40
Figura 3.12 – Esquema de ligação elétrica do sensor. [43] .....	41
Figura 3.13 – Componentes do sistema IAW 7GF - TETRAFUEL. [58].....	42
Figura 3.14 – Motor de ensaio. [36] .....	43
Figura 3.15 – Motor de ensaio - Vista lateral. [36].....	44
Figura 3.16 – Conector de diagnóstico - a) lado veículo e b) lado scanner. [36] .....	45
Figura 3.17 – a) Multímetro automotivo e b) Sonda de temperatura. [36].....	45
Figura 3.18 – Detalhe do coletor de escape. [36].....	46
Figura 3.19 – Esquema de montagem dos equipamentos para o ensaio. [36], [57].....	48
Figura 3.20 – Fluxograma das etapas dos ensaios.....	50
Figura 4.1 – Gráfico da resposta de tensão - 1000 rpm.....	53
Figura 4.2 – Gráfico da resposta de tensão - 3000 rpm.....	53
Figura 4.3 – Gráfico da resposta de tensão - 1000 x 3000 rpm. ....	54
Figura 4.4 – Gráfico da emissão de CO <sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm. ....	55
Figura 4.5 – Gráfico da emissão de O <sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm.....	55
Figura 4.6 – Gráfico da emissão de CO na exaustão - 1000 x 3000 rpm. ....	56
Figura 4.7 – Gráfico comparativo CO e O <sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm. ...	56
Figura 4.8 – Gráfico da emissão de HC na exaustão 1000 x 3000 rpm.....	57
Figura 4.9 – Gráfico da temperatura dos gases na exaustão - 1000 rpm. ....	60
Figura 4.10 – Gráfico da temperatura dos gases na exaustão - 3000 rpm. ....	60
Figura 4.11 – Gráfico temperatura dos gases de exaustão - 1000 x 3000 rpm.	61
Figura 4.12 – Imagem termográfica do coletor de escape. ....	61
Figura 4.13 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 1000 rpm.....	62
Figura 4.14 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 3000 rpm.....	63
Figura 4.15 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 1000 x 3000 rpm. ....	63

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Taxa de estabilização e composição de fase. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Tabela 2.2 – Sinais de entrada UCM. ....	19
Tabela 2.3 – Saída de sinais da UCM.....	20
Tabela 2.4 – Relação ar/combustível estequiométrica.....	23
Tabela 2.5 – Principais componentes prejudiciais à saúde.....	28
Tabela 2.6 – Limites de Emissões para Veículos Leves – PROCONVE.....	29
Tabela 2.7 – Limites máximos de emissão de CO <sub>corrigido</sub> . ....	30
Tabela 2.8 – Limites máximos de emissão de HC <sub>corrigido</sub> . ....	31
Tabela 3.1 – Sensores utilizados nos ensaios. ....	36
Tabela 3.2 – Dados técnicos do motor.....	42
Tabela 4.1 – Registros de ensaios I.....	51
Tabela 4.2 - Registros de ensaios II.....	52
Tabela 4.3 – Análise de emissões e Valor Lambda. ....	58
Tabela 4.4 – Leitura dos gases e valores de referência.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>A/C</b>	Mistura ar/combustível
<b>CARB</b>	California Air Resources Board
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CTV</b>	Catalisador de três vias
<b>DTC</b>	Código de falha de diagnóstico (Diagnostic Trouble Code)
<b>E100</b>	Etanol puro (100%)
<b>FEM</b>	Força Eletromotriz
<b>FIRE</b>	Produção automatizada com robôs (Fully Integrated Robotized Engine).
<b>GNV</b>	Gás Natural Veicular
<b>HEGO</b>	Sensor de Oxigênio (sonda lambda)
<b>IBAMA</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
<b>IPEN</b>	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
<b>MCI</b>	Motor de combustão interna
<b>MEMS</b>	Sistemas Micro eletromecânicos (Micro-Electro-Mechanical Systems)
<b>MEV</b>	Microscopia Eletrônica de Varredura
<b>OBD II BR</b>	Sistema de diagnóstico embarcado Brasil (On Board Diagnostics Brazil)
<b>PROCONVE</b>	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
<b>PROMOT</b>	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
<b>PSZ</b>	Zircônia Parcialmente Estabilizada (Partially Stabilized Zirconia)
<b>RMS</b>	Desvio Médio Quadrático (Root Mean Square)
<b>TWC</b>	Catalisador de três vias (Three Way Catalytic)
<b>UCM</b>	Unidade de controle eletrônico do motor
<b>YSZ</b>	Zircônia Estabilizada com Ítria (Yttria Stabilized Zirconia)
<b><math>\lambda</math></b>	Fator Lambda

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Objetivos .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1	Os sensores de oxigênio .....	6
2.2	Características operacionais .....	7
2.3	Operação dos sensores de oxigênio .....	8
2.4	Alotropia da zircônia .....	9
2.5	A Zircônia estabilizada com Ítria (YSZ) .....	10
2.6	Microestrutura do eletrodo e do eletrólito .....	11
2.7	Formação da mistura ar/combustível .....	13
2.7.1	Gerenciamento eletrônico do motor .....	16
2.7.2	Cálculos relação ar/combustível .....	20
2.7.3	Ajuste fino na mistura ar/combustível .....	23
2.7.4	Emissões de gases de exaustão .....	26
2.7.5	Limites de emissão .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
3.1	Sensores .....	35
3.2	Características da superfície do sensor .....	38
3.3	Conexões com o sistema de gerenciamento do motor .....	40
3.4	Motor de ensaio .....	41
3.5	Aparelhagem .....	44
3.5.1	Interface com o sistema (scanner) .....	44
3.5.2	Multímetro digital automotivo .....	45
3.5.3	Osciloscópio automotivo .....	46

3.5.4	Analisador de gases de exaustão.....	46
3.6	Métodos.....	47
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1	Sinal de resposta dos sensores .....	52
4.2	Emissões de gases .....	54
4.2.1	Análise dos gases de exaustão .....	57
4.3	Temperatura dos gases de exaustão .....	59
4.4	Tempo de resposta dos sensores .....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE A – SINAL ELÉTRICO (MV) DOS SENSORES. ....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS COLETADOS NOS ENSAIOS DOS SENSORES .....</b>	<b>74</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A redução no volume de emissões de poluentes gerada pelo grande número de veículos movidos por motores de combustão interna que circulam diariamente pelas ruas e rodovias é de suma importância. Os governos, sejam por meio de legislação específica, sejam por meio de incentivos financeiros, promovem a realização de pesquisas e avanços na tecnologia dos motores, bem como, no aperfeiçoamento de seu gerenciamento, buscando reduzir progressivamente os níveis de emissão de poluentes, principalmente, os gases gerados pela combustão dos combustíveis, objetivando a conservação de nossa qualidade de vida e preservação do meio ambiente [1].

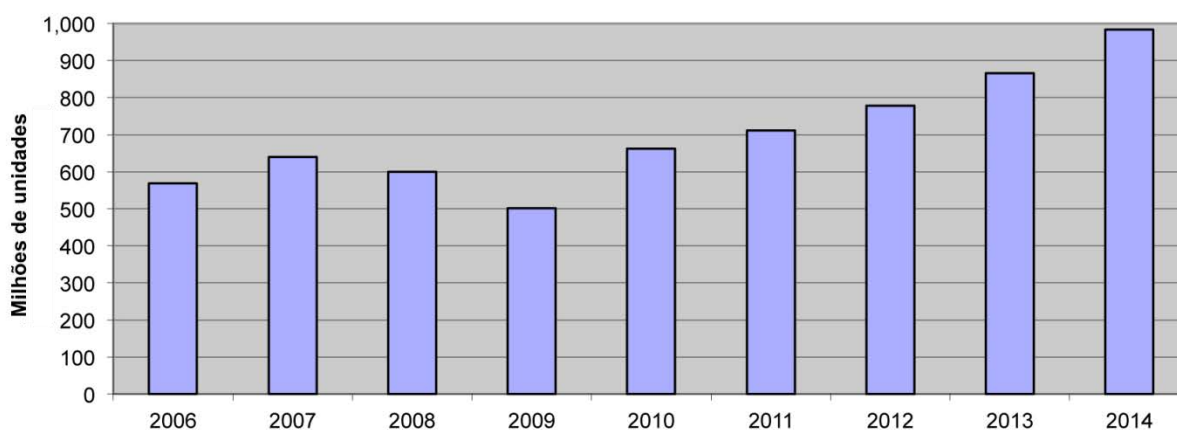
Desde a apresentação do primeiro motor de ignição por centelha por August Nicolaus Otto em 1876, estudos detalhados dos processos termodinâmicos que ocorrem nestas máquinas têm permitido uma constante evolução das mesmas, tornando-as mais eficientes e conseqüentemente menos poluentes, adequando-as à legislações ambientais cada vez mais severas [2].

Atualmente, cresce a importância de leis especificamente formuladas em diversos países, com o propósito de regulamentar a redução e o controle a poluição do ar proveniente dos veículos automotores. No Brasil, especificamente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores: PROCONVE (automóveis) e PROMOT (motocicletas) com definição de prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados. A partir do crescimento da frota automotiva, principalmente nas grandes concentrações urbanas, ressalta ser inadiável ao Poder Público e à sociedade a busca de soluções de mobilidade urbana como peça-chave na qualidade de vida das grandes cidades brasileiras [3]. Mais recentemente, o decreto federal 7.819, publicado em 03 de outubro de 2012, denominado Inovar-Auto [4] que tem como objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico, a inovação, a segurança, a proteção ambiental, a eficiência energética e a qualidade dos veículos e autopeças.

A aplicação de materiais cerâmicos avançados tem ganhado cada vez mais importância em diversas áreas das engenharias, podendo ser citadas a engenharia mecânica, mecatrônica, de materiais e na automotiva, que não poderia ser diferente.

As cerâmicas de zircônia ( $ZrO_2$ ) possuem diferentes aplicações dependendo da fase cristalina que apresentam. A fase monoclinica tem emprego em catalisadores, pigmentos cerâmicos [5]; a fase tetragonal é utilizada como cerâmica estrutural de alto desempenho mecânico, bem como a fase cúbica é adequada para aplicações como células de combustível de óxidos sólidos e sensores de oxigênio, em razão da sua alta condutibilidade iônica em grande faixa de temperatura e pressão parcial de oxigênio [6].

A integração da mecânica com a eletroeletrônica é sem dúvida a razão maior desta evolução. Uma prova incontestável desta evolução na micro eletroeletrônica pode ser sentida no crescimento de aplicação de sensores, que batem níveis recordes de produção, e com mais crescimento a vista [7], vide Figura 1.1. As inúmeras unidades de controle eletrônico do motor (UCM), os sistemas de controle de emissões integrados como o sensor de oxigênio, além dos catalisadores de gases, são bons exemplos desta evolução, estando presentes em automóveis, veículos comerciais leves e em motocicletas que utilizam motores de combustão interna dos ciclos Otto e Diesel. O sensor de oxigênio tem muitas aplicações na indústria, na siderurgia e principalmente no setor automotivo. Montado no sistema de exaustão tem como propósito, monitorar a concentração de oxigênio residual presente nos gases de escape produzidos pelo motor, necessária para adequar a relação ar/combustível.



**Figura 1.1 – Evolução do uso de sensores automotivos (MENS). [7]**

Além de utilizar o sensor de oxigênio para controlar a qualidade da combustão (correta relação da mistura ar e combustível), através do monitoramento da concentração de  $O_2$  nos gases de exaustão, contribuindo para reduzir as emissões /

consumo de combustível, um conversor catalítico de três vias pode ser também aplicado. Juntos, eles têm a capacidade minimizar os três principais gases nocivos gerados durante a combustão: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e hidrocarbonetos (HC), em produtos não poluentes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O) e nitrogênio (N<sub>2</sub>), melhorando consideravelmente o consumo e a eficiência térmica do motor [8].

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é comparar quatro sensores de oxigênio originalmente desenvolvidos para operar com gasolina pura se comportam com o uso de combustíveis alternativos, com composição química e fases distintas, Etanol (líquida) e GNV (gasosa), quanto suas características operacionais, princípios de funcionamento, bem como, sua contribuição e importância como componente em um sistema de gerenciamento eletrônico de um motor de combustão interna. Serão analisados o desempenho operacional de quatro sensores de zircônia-ítria (ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), de marcas distintas, de fabricantes tradicionais, adquiridos no mercado de reposição, aplicados em um motor de ignição por centelha, desenvolvido originalmente para operar com quatro combustíveis. Eles foram montados em dispositivo autônomo ao veículo, permitindo assim, controlar as variáveis operacionais para a realização deste trabalho, operando em duas faixas de operação (rotação) do motor na condição estabilizada [9], sendo a rotação de 1000 rpm que é próxima à condição de marcha lenta e a de 3000 rpm que é adjacente à condição de torque máximo, que corresponde a condição de velocidade de cruzeiro dos veículos. Realizar a aquisição dos dados de resposta elétrica do sensor na medição da concentração de oxigênio residual (O<sub>2</sub>) presente nos gases de exaustão, o tempo de resposta (transição de chaveamento) [10] do sensor para o módulo de gerenciamento eletrônico, a temperatura dos gases na região de operação do sensor e os gases emitidos na exaustão, sendo: oxigênio (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarbonetos (HC). Após a aquisição dos dados, procedeu-se a análise destes, comparando-os com o desempenho operacional do motor e a inter-relação entre a operação dos sensores e o funcionamento do motor.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura relativa aos sensores de oxigênio a base de eletrólitos sólidos de zircônia. São apresentados conceitos gerais, estabilização de fase de interesse, a técnica de caracterização que descreve o comportamento elétrico dos compósitos cerâmicos e o princípio de funcionamento dos mesmos. Serão também abordadas as emissões de exaustão, bem como a função do sensor no sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

Os motores de combustão interna (MCI) são fontes de energia primária para veículos de transporte, navios em geral, equipamentos de construção, máquinas agrícolas, entre outros. Estes motores consomem grandes quantidades de combustível, obtido, na maioria dos casos, do petróleo. Para produzir energia eles emitem gases de escape tóxicos ou perigosos, que incluem o monóxido de carbono (CO), hidrocarboneto (HC), óxido de nitrogênio (NOx), material particulado (PM) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Ao longo das últimas duas décadas, em todo o mundo a pesquisa nas indústrias de motores e automotiva tem sido dedicada à engenharia de maior eficiência no consumo de combustível e o controle nas emissões, objetivando torna-las mais baixas, bem como, o uso de combustíveis alternativos e renováveis, em função da quantidade finita dos obtidos de fontes fósseis. No entanto, o desenvolvimento das tecnologias de redução de emissões existentes têm melhorado também os motores de combustão interna. Os centros de pesquisa das indústrias automotivas dedicam boa parte de seu trabalho no aumento de eficiência de seus motores tendo como consequência a redução de consumo e menor emissão de poluentes [11]. Esta situação contribui para amenizar a escassez de combustíveis para o uso veicular e reduzir o valor bruto de emissões de gases de efeito estufa [11 - 13].

É notório que a sociedade tem se beneficiado muito, ao longo do século passado, a partir de avanços que ocorreram nos campos da energia, do transporte, da comunicação e médicos. Também em virtude disto, a sociedade tornou-se cada vez mais preocupada com as consequências não intencionais desses avanços, incluindo o aquecimento global, a poluição do ar, da água e a destruição da camada de ozônio e das florestas. Muitas dessas forças destrutivas podem ser atreladas ao aumento das emissões das usinas de energia termoelétricas, ao aquecimento de residências, das fábricas de veículos, etc. que derivam quase 90% de sua energia a partir de processos

de combustão de combustíveis fósseis. Adicione a isso vários produtos gasosos e líquidos tóxicos, gerados em plantas de processamento químico tornando óbvio que meios para o acompanhamento e controle dessas emissões ou produtos perniciosos são necessários [14]-[13].

Os sensores são elementos críticos no monitoramento e o controle da combustão. Eles contribuem, por exemplo, para melhorar o desempenho do sistema, reduzindo os níveis de emissões de poluentes e ajustando adequadamente o padrão dos gases de exaustão do motor para posterior tratamento no catalisador de três vias. Os sensores de dióxido de zircônia ( $ZrO_2$ ) são uma alternativa de baixo custo, aplicado na medição da concentração de oxigênio residual nos gases de exaustão dos motores automotivos. A função do sensor do oxigênio é informar para o sistema de gerenciamento eletrônico a condição instantânea da relação ar/combustível fornecida ao motor. Sua operação consiste em converter o valor residual de oxigênio presente nos gases de exaustão em sinal elétrico para o UCM (unidade de controle eletrônico). A UCM faz, então, os ajustes dos parâmetros necessários para obtenção da correta relação ar/combustível, ou seja, a mistura estequiométrica.

Nas últimas décadas o interesse no desenvolvimento de eletrólitos a base de zircônia, vem sendo crescente, pois estes constituem um importante subgrupo dos materiais condutores iônicos em uma ampla faixa de temperatura a pressão parcial de oxigênio, determinando seu uso em várias aplicações eletroquímicas de alta temperatura [15].

Os eletrólitos sólidos com base na zircônia estabilizada são alvo de estudos desde a descoberta da evolução eletrolítica do oxigênio nas soluções sólidas de  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  (Nernst Glower) por Nernst em 1899 [16]. Talvez esta seja a primeira demonstração na qual, é ilustrado claramente que a condutividade iônica existe no estado sólido. A condutividade naquelas soluções sólidas ocorre através das vacâncias iônicas no óxido (VÖ), gerada devido à compensação da carga elétrica. A cerâmica de zircônia estabilizada foi o assunto da pesquisa científica extensiva durante os últimos 30-35 anos, devido a aplicações tecnológicas diversas [17].

Estes materiais foram usados em células combustíveis, em separadores e bombas de oxigênio, e nos sensores eletroquímicos de gás. Durante todo este período houve duas áreas de pesquisa preliminares: (1) otimização da tecnologia de manufatura e da estrutura da zircônia estabilizada, e (2) desenvolvimento do conhecimento relacionado à interface entre o eletrólito-elétrodo [17].

A primeira revisão detalhada das propriedades da cerâmica de zircônia foi publicada em 1970 [18]. Desde então, o número das publicações tem crescido constantemente. Embora as pesquisas nas relações da interface zircônia/elétron contínuem se desenvolvendo, a primeira descoberta para os sensores de gás com base em zircônia ocorreu recentemente devido à introdução e à comercialização dos sensores lambda ( $\lambda$ ) a base de zircônia estabilizada com ítria (YSZ) para a detecção do oxigênio a pressão parcial nas exaustões automotrizes [19]. Apesar disso, um número de perguntas permanece por ser respondidas, incluindo a dependência da temperatura, da concentração da desordem estrutural e de sua inter-relação com a alta condutividade iônica em muitos dos usos industriais destes eletrólitos [17].

O campo dos dispositivos sensíveis ao gás no estado sólido é um campo em desenvolvimento muito dinâmico e rápido, sendo esperado que continue a crescer continuamente com os avanços nos materiais, na fabricação, caracterização e modelagem do dispositivo [14].

## 2.1 Os sensores de oxigênio

Os sensores de oxigênio utilizados em sistemas de controle de emissões de gases de exaustão em automóveis estão dominando as aplicações dos sensores de gás de estado sólido do mundo. Em 1976, após o anúncio de rigorosa regulamentação de controle de emissões no estado da Califórnia (EUA) e na demonstração de que o controle da relação ar-combustível com um sensor de oxigênio aliado a um conversor catalítico de três vias podiam reduzir significativamente essas emissões, desde então, o número de sensores de oxigênio em veículos aumenta continuamente. Outra contribuição para este enorme crescimento foi a exigência adicional do “Californian Air Resource Board (CARB)” para monitorar todos os componentes relevantes de emissões através do diagnóstico embarcado (On Board Diagnosis - OBD), que posteriormente adotou um segundo sensor de oxigênio a jusante do catalisador. Ao longo dos últimos 25 anos, o nível de produção em todo o mundo chegou a várias centenas de milhões de peças [20].

Há, em princípio, muitas maneiras de detectar as espécies de produtos químicos no meio ambiente. O dispositivo de detecção assume a forma de um transdutor eletroquímico. Classicamente, estaria na forma de células eletroquímicas, operando tanto no modo amperométrico ou potenciométrico. De fato, os sensores

instalados em dezenas de milhões de novos automóveis por ano, com a finalidade de monitorar a concentração de oxigênio a pressão parcial ( $pO_2$ ) dos gases de escape, são dispositivos potenciométricos utilizando o eletrólito sólido à base de zircônia estabilizada com ítria (YSZ). Uma força eletromotriz (FEM) é gerada através do eletrólito, devido ao gradiente de pressão parcial de oxigênio ( $pO_2$ ) existente entre os gases no coletor de escape e o ar de referência (atmosfera). Este gradiente de atividade de oxigênio tende a conduzir íons de oxigênio por difusão a partir do lado de maior para o de menor pressão [14].

Apesar do fato de que as pesquisas em sensores de oxigênio estarem sendo conduzidas durante mais de 40 anos, novas abordagens ainda surgem. No início, a pesquisa em grande parte focada em materiais, principalmente semicondutores óxidos metálicos do tipo-n, e devido às características resistivas  $R(pO_2)$ . Mais tarde, foram realizadas várias tentativas para resolver o problema da dependência de temperatura (principalmente utilizando óxidos semicondutores do tipo p), da sua resistência ao enxofre e da resistência a atmosferas redutoras. Para os materiais clássicos, observa-se abordagens com relação às tecnologias de fabricação, bem como nas recentes aplicações em catalisadores. A fim de melhorar a estabilidade em longo prazo, em condições críticas, novas formulações do material estão em estudo [21].

## 2.2 Características operacionais

Influenciado pelos projetos das velas de ignição comuns, o corpo do sensor de zircônia convencional da primeira geração tinha uma forma de dedal cônico. Anteriormente ao desenvolvimento das técnicas de produção a altas temperaturas, os eletrodos eram produzidos por meio de técnicas de película fina, após a queima, uma camada de proteção porosa era aplicada utilizando técnicas de chama de plasma ou métodos de pulverização. Este elemento de cerâmica era montado em um invólucro de aço inoxidável protegendo a cerâmica contra impactos mecânicos e térmicos. Uma variedade de tipos de tubos de proteção proporciona a necessária proteção da parte ativa do elemento de cerâmica expostos aos gases de escape. A geometria das aberturas dos tubos de proteção também determina o comportamento dinâmico do sensor [20]-[22].

A sensibilidade é a principal propriedade quando se discute sobre sensores.

Esta situação resulta do fato de que certas espécies de produtos químicos, com nível de concentração em partes por milhão (ppm), ou mesmo níveis mais baixos, podem ser tóxicos para os seres humanos, e contribuem para a corrosão de componentes críticos e/ou catalisadores de gases poluentes, essenciais no controle das emissões ou aplicados na indústria química. Isso traz à tona outra propriedade chave do sensor, a seletividade, que reflete a muitas vezes, um enorme desafio de detectar seletivamente pequenas quantidades de uma molécula específica suspensa em um mar de outras espécies químicas, por exemplo, a atmosfera circundante. Outro parâmetro importante para o sensor é a sua velocidade de resposta. Por exemplo, um sensor de oxigênio instalado em automóveis deve responder dentro da ordem de 10 ms a uma mudança na composição do gás, a fim de permitir o controle da relação ar-combustível necessária para o funcionamento adequado do conversor catalítico e redução das emissões de gases nocivos. A última das quatro propriedades fundamentais é a estabilidade, sem a qual, a realização de leituras confiáveis por parte dos sensores tornam-se impossíveis. Esta última propriedade é cada vez mais difícil de alcançar, em razão da crescente necessidade de sensores para operar em altas temperaturas e más condições ambientais. A análise das quatro propriedades importantes citadas, sensibilidade, seletividade, velocidade e estabilidade (sensitivity, selectivity, speed and stability) são, portanto, essenciais em qualquer discussão sobre o desenvolvimento de sensores químicos [14].

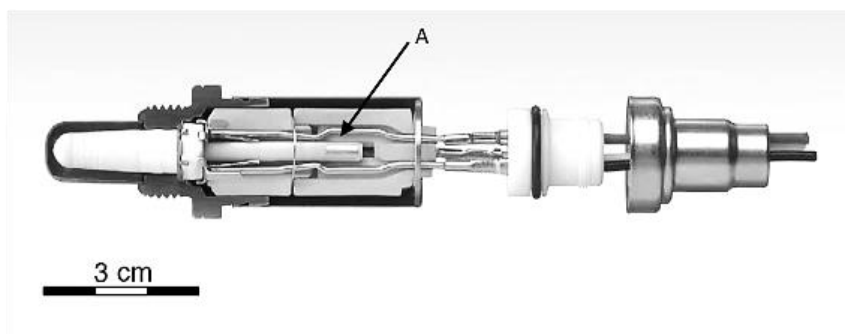
### 2.3 Operação dos sensores de oxigênio

Para melhorar a condutividade iônica do oxigênio, o que é decisivo para a temperatura de ativação, a zircônia estabilizada com cálcio (Ca), de baixo custo, foi substituída pela estabilizada com ítria  $Y_2O_3$ , mais cara [23]. Devido a problemas com a zircônia estabilizada com ítria (> 8% em mol) (YSZ), no que diz respeito à resistência mecânica, bem como ao choque térmico, um tipo diferente, chamada de zircônia parcialmente estabilizada (PSZ) com adição de 4 a 5% mol de ítria, foi escolhida em maior parte da indústria de sensores de oxigênio. A menor condutividade iônica de oxigênio em comparação com a YSZ é compensada por uma melhoria na resistência mecânica [24]-[25]. No entanto, a composição da fase complexa da PSZ e a microestrutura da cerâmica têm de ser controlada com precisão durante o processo de fabricação (matéria-prima, a quantidade de fluxo, moagem / tamanho de grão e



temperatura de sinterização), para evitar qualquer decomposição ou degradação na resistência mecânica. Este problema é bem conhecido e causou problemas precoces nas aplicações em veículos em função dos gases de escape operar em uma faixa temperatura entre 20 e 400°C [26].

Caso a única fonte de calor para alcançar a temperatura mínima de trabalho de aproximadamente 350°C for a própria temperatura do gás de exaustão, o sensor pode demorar um longo período de tempo para atingir a sua temperatura operacional. Para superar esta desvantagem, e também para reduzir a variação elevada de temperatura durante a operação, a primeira grande melhoria durante o início de 1980 foi a introdução de um elemento de aquecimento (5 a 20 W), Figura 2.1 detalhe “A”, inserido no núcleo da cerâmica dedal [20].



**Figura 2.1 – Sensor de oxigênio tipo dedal (Bosch). [20]**

## 2.4 Alotropia da zircônia

A zircônia existe em três formas cristalinas: monoclinica, tetragonal, e cúbica. A Figura 2.2 mostra um diagrama de fase (parcial) para a zircônia estabilizada com ítria. A estrutura é monoclinica (M) da temperatura ambiente até 1443 K (1170°C), neste ponto transforma-se em tetragonal (T). Permanece tetragonal até 2644 K (2370°C), quando se converte em cúbica (C) [27]. No material puro a fase cúbica existe somente acima de 2644 K (2370°C) e não é encontrada nos produtos sinterizados, que são processados em temperaturas muito mais baixas. A  $ZrO_2$  pura sinterizada acima de 1443 K (1170°C) desintegra-se espontaneamente durante o resfriamento por causa da transformação triclinica para monoclinica que envolve um aumento na densidade de 5,7 para mais de 6 g/cm<sup>3</sup>. Para as aplicações que envolvem temperaturas superiores a 1273 K (1000°C), a zircônia deve ser estabilizada para impedir a inversão da fase, que é geralmente destrutivo. A estabilização pode estar

parcial ou total, dependendo da quantidade de estabilizador adicionado [28]-[29].

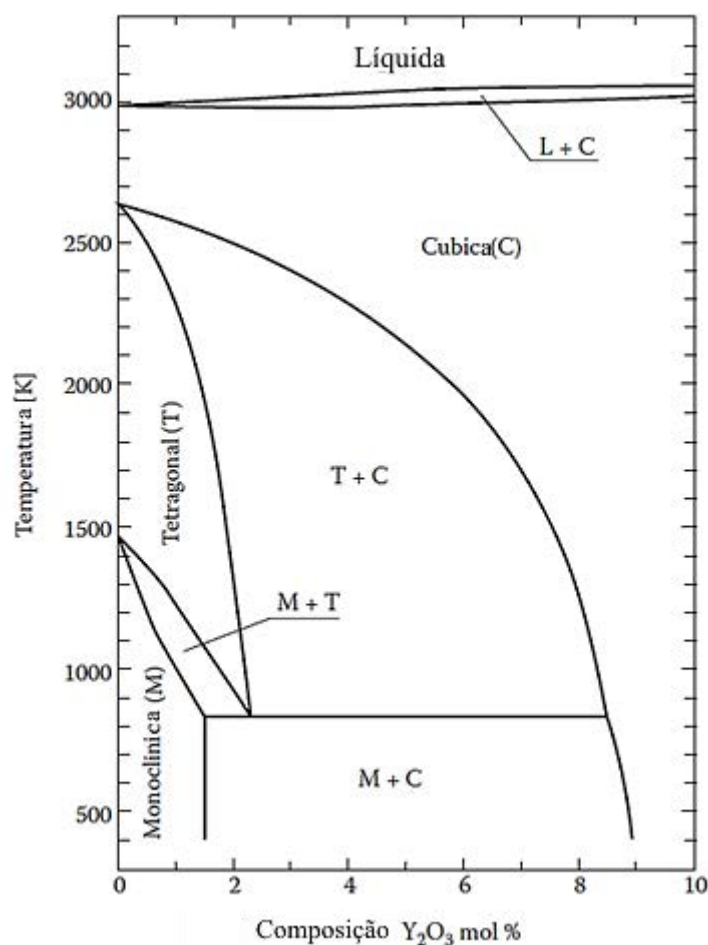
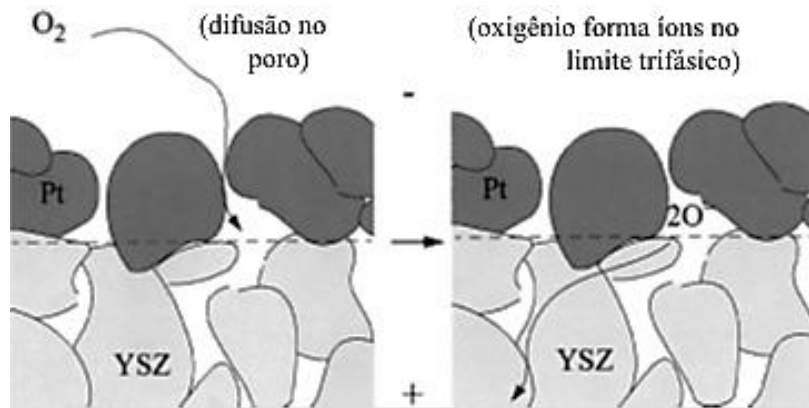


Figura 2.2 – Diagrama de fase -  $ZrO_2 - Y_2O_3$ . [17]

## 2.5 A Zircônia estabilizada com Ítria (YSZ)

Os sensores de oxigênio operam no princípio da eletrolise de óxido sólido, muitas vezes, referido como bombeamento de oxigênio. A zircônia estabilizada com ítria (YSZ) com eletrodos de platina porosa (Pt) é comumente usado nos sensores de oxigênio. As vacâncias de íons de oxigênio na estrutura de cristal de zircônia promovidas pela ítria dopante dá origem à condutividade iônica seletiva de oxigênio [30]-[31]. A aplicação de um potencial em torno do eletrólito YSZ aquecido acima de 350°C é usado para quebrar o oxigênio molecular em oxigênio atômico que, posteriormente, é ionizado em  $O_2$  em um dos limites trifásicos no lado do cátodo Figura 2.3. O campo elétrico, em seguida, conduz o íon através da grade de cristal em direção ao ânodo, onde ele se recombina para formar oxigênio molecular [30]-[32].



**Figura 2.3 – Limites tri-fase entre o eletrodo, eletrólito e o gás. [32]**

Os sensores de oxigênio potenciométricos baseiam-se no comportamento físico das células galvânicas, na qual a eletricidade é produzida como resultado da reação espontânea ocorrendo dentro delas. No sensor, uma pressão parcial de referência ( $ref\ pO_2$ ) de um lado do eletrólito e outra pressão desconhecida ( $pO_2$ ), a ser determinada, do outro lado. Uma força eletromotriz (FEM), em volts (V), é gerada entre os eletrodos pela tendência dos íons de oxigênio dentro do eletrólito, migrar do lado de alta para o lado de baixa pressão parcial de oxigênio. A FEM gerada entre os dois eletrodos segue a equação de Nernst [16]-[33]-[34].

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \left[ \frac{P_{O_2} \text{ ref (ar)}}{P_{O_2} \text{ (exaustão)}} \right] \quad (2.1)$$

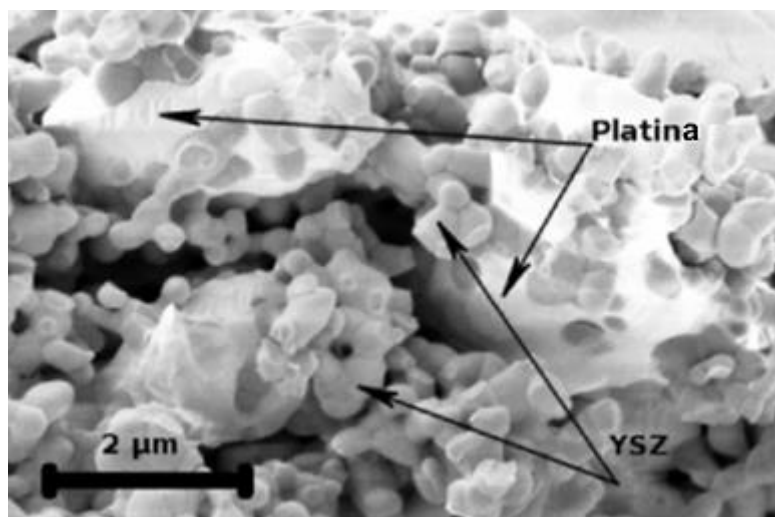
Onde:

- R é a constante universal do gás;
- T é a temperatura de operação;
- F é a constante de Faraday;
- $P_{O_2} \text{ ref (ar)}$  é a pressão parcial do oxigênio no ar ambiente (gás de referência) na interface do eletrodo-eletrólito do eletrodo externo.
- $P_{O_2} \text{ (exaustão)}$  é a pressão parcial do oxigênio na interface do eletrodo-eletrólito do eletrodo interno;

## 2.6 Microestrutura do eletrodo e do eletrólito

A Figura 2.4 mostra uma imagem obtida utilizando-se um MEV (Zeiss

SUPRA-35) com um detector secundário de elétron (ES) de uma parte do eletrodo que foi fraturada. Observa-se as partículas aglomeradas de platina (Pt) com cerca de 2  $\mu\text{m}$  de diâmetro, enquanto que as partículas aglomeradas de YSZ tem cerca de 0,2  $\mu\text{m}$ . A espessura do eletrodo foi determinada como sendo cerca de 13  $\mu\text{m}$  a partir de uma imagem feita de uma parte da secção transversal do eletrodo [35].

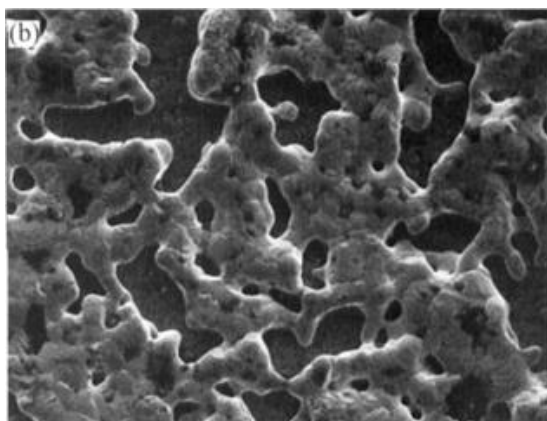


**Figura 2.4 – MEV dos poros do eletrodo Pt/YSZ. [35]**

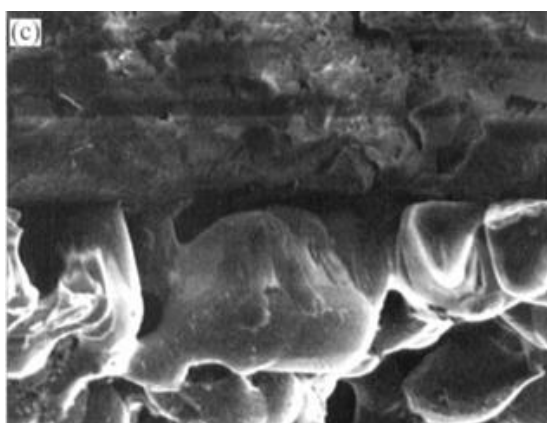
A partir das imagens (MEV) pode-se observar a superfície do eletrólito substrato YSZ sinterizado a 1773 K, Figura 2.5, eletrodo de platina sinterizado a 1273 K, Figura 2.6, e interface entre o eletrodo e o eletrólito, Figura 2.7. O substrato YSZ é muito liso e compacto, o que melhora a eficiência da transferência de íons de oxigênio do eletrólito a uma temperatura elevada. Esta é uma microestrutura preferida, pois a transferência de íons de oxigênio necessita uma fase contínua de eletrólito. É evidente que as superfícies do eletrodo são a rede de interligação com elevada porosidade, o que facilita o processo de difusão de oxigênio gasoso e a adsorção no eletrodo. É claro que a fase de platina e a fase eletrólito YSZ tem uma boa ligação, a qual se expande no comprimento de limite das fases triplas, em que a fase de metal, o eletrólito e a fase de gás liga uns aos outros, e a reação eletroquímica ocorre [31].



**Figura 2.5 – MEV Substrato YSZ sinterizado a 1773 K.**



**Figura 2.6 – MEV Eletrodo de platina sinterizado a 1273 K.**



**Figura 2.7 – MEV Interface entre o eletrodo e o eletrólito. [31]**

## **2.7 Formação da mistura ar/combustível**

Um motor MCI precisa ser alimentado com uma determinada relação de

ar/combustível para a operação. A queima total, teoricamente ideal, da gasolina (sem adição de etanol) está em uma relação de 14,7:1, também chamada de relação estequiométrica. Isto significa que para a queima de 1 kg de combustível são necessários 14,7 kg de ar [1]-[37]-[38].

O consumo específico de combustível de um MCI depende principalmente da proporção da mistura ar/combustível. Para a queima total real e para o mínimo consumo possível é necessário um excesso de ar que, no entanto, devido à inflamabilidade da mistura e à duração da queima disponível, é limitado Figura 2.12 [1].

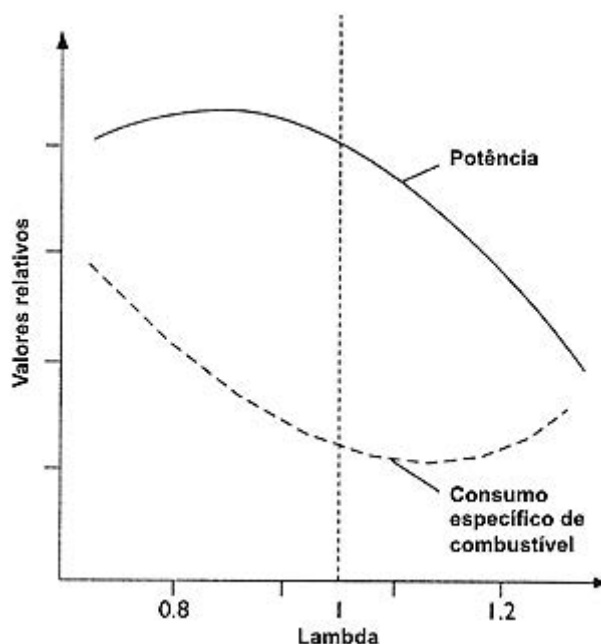


Figura 2.8 – Potência x consumo x relação A/C. [38]

Para determinar o quanto a mistura ar/combustível efetivamente disponível desvia da teoricamente necessária, foi escolhido o coeficiente de ar ou relação de ar  $\lambda$  (Lambda):

$$\lambda = \frac{\text{relação ar / combustível REAL}}{\text{relação ar / combustível ESTEQUIOMÉTRICA}} \quad (2.2)$$

$\lambda$  = massa de ar admitida em relação à demanda de ar para a queima estequiométrica.

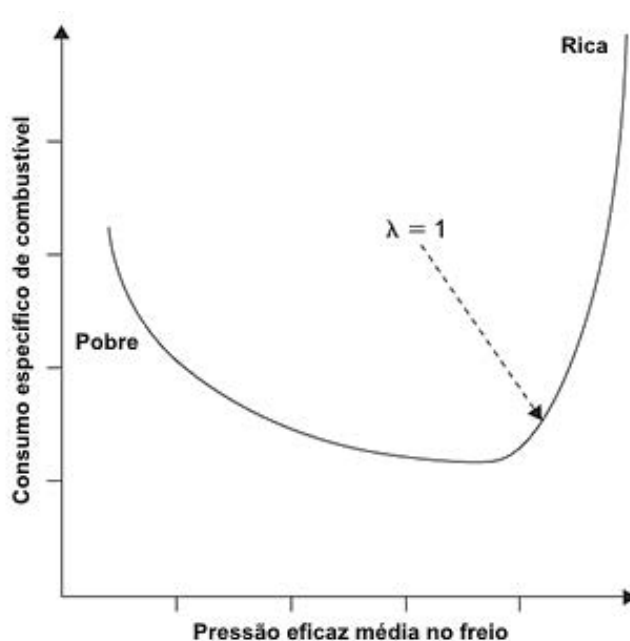
Tem-se as seguintes situações possíveis para  $\lambda$ :

$\lambda = 1$ : a massa de ar admitida corresponde à massa de ar teoricamente necessária.

$\lambda < 1$ : predomina a falta de ar e, portanto, a mistura rica. A potência máxima se dá com  $\lambda$  no intervalo compreendido entre 0,85 à 0,95.

$\lambda > 1$ : nesta faixa predomina o excesso de ar ou mistura pobre. Este coeficiente de ar é característico de menor consumo de combustível e menor potência.

A ótima razão ar/combustível em determinada velocidade do motor, consiste naquela em que se consegue o conjugado desejado, com o menor consumo de combustível consistente com a operação normal e confiável. Essa ótima razão A/C não é constante, mas depende de muitos fatores Figura 2.13 [39][38].



**Figura 2.9 – Curva de consumo específico. [38]**

Os requisitos de mistura para a partida e aquecimento o motor necessitará geralmente de uma relação ar/combustível rica, a fim de assegurar que uma alimentação apropriada alcance o cilindro nestas condições específicas. Assim, o sistema de alimentação deve estar apto a fornecer misturas muito ricas na partida e a razão A/C deve ser progressivamente reduzida a partir desse ponto, durante o período de aquecimento, até o motor funcionar satisfatoriamente com razões A/C normais na

operação permanente.

O termo “aceleração”, com relação aos motores, é geralmente usado para caracterizar um aumento na sua velocidade angular, resultante da abertura da borboleta de aceleração. O propósito imediato desta ação, entretanto, é assegurar um aumento do conjugado, e dependerá da natureza da carga com o aumento subsequente na velocidade angular.

Determinados regimes de funcionamento do motor exigem alterações objetivas na composição da mistura ar-combustível, então, a relação é ajustada durante determinadas condições de funcionamento do motor, para garantir seu desempenho, a dirigibilidade do veículo, com um menor consumo e baixas emissões, são elas:

- **Partida a frio** - Uma mais mistura rica é necessária para compensar a tendência de condensação de combustível, a maior força de atrito entre os componentes e melhorar a dirigibilidade.

- **Carga ou aceleração** - uma mistura mais rica para melhorar o desempenho.

- **Carga leve ou Velocidade de cruzeiro** – uma mistura pobre visando a economia de combustível.

- **Desaceleração** – uma mistura mais pobre o quanto possível para melhorar o consumo e as emissões.

A forma mais precisa da relação ar-combustível é controlada para satisfazer as condições externas, em seguida, a melhor o funcionamento geral do motor.

Portanto pode-se deduzir que não existe um coeficiente de ar ideal, no qual todos os fatores assumem o valor mais propício [37].

O fator fundamental para a utilização do sensor de oxigênio é manter a relação da mistura ar/combustível o mais próxima possível do valor estequiométrico, ou seja,  $\lambda=1$ .

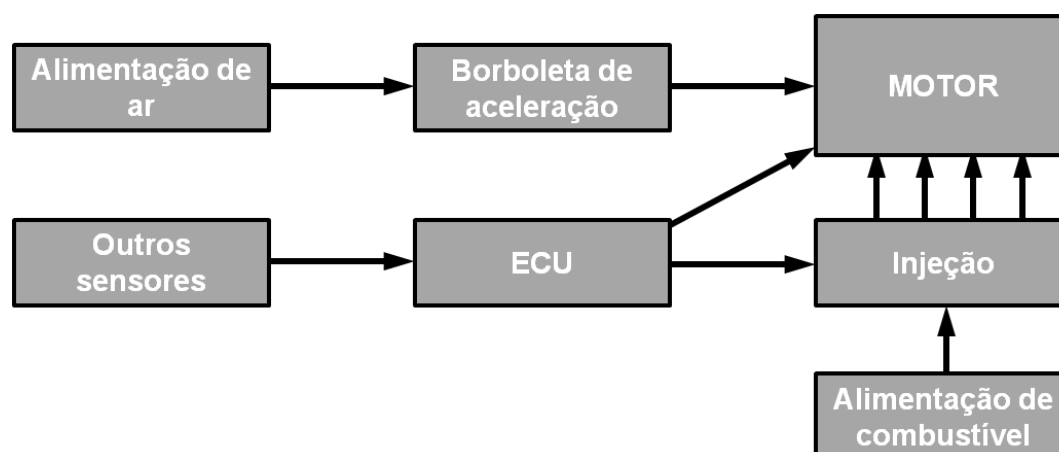
### 2.7.1 Gerenciamento eletrônico do motor

Para o controle preciso da quantidade de combustível fornecido ao motor proporcionando um ajuste mais próximo possível da relação estequiométrica, com conseqüente redução das emissões de gases de exaustão, foi desenvolvido e adotado com vantagem o sistema de gerenciamento eletrônico do motor. O princípio básico deste sistema é de que, se a gasolina é fornecida a um injetor (válvula controlada



eletricamente), com um diferencial de pressão constante, a quantidade de combustível injetado será diretamente proporcional ao tempo que o injetor permanece aberto [40]. A maioria dos sistemas agora são controlados eletronicamente, mesmo contendo alguns componentes mecânicos de medição. Isto permite que a operação do sistema de injeção tenha correspondência muito estreita com os requisitos do motor. Este processo de comparação é realizado durante o desenvolvimento nos bancos de ensaio e dinamômetros, bem como o desenvolvimento do veículo. Os dados de operação ideais para um grande número de condições de funcionamento do motor são armazenados em uma memória na UCM. O controle em malha fechada (closed loop) da quantidade de combustível injetado permite o ajuste ideal para a mistura quando todos os fatores operacionais são levados em conta [38].

A Figura 2.14 mostra um layout de controle típico de um sistema de gerenciamento eletrônico do motor.



**Figura 2.10 – Layout do sistema de gerenciamento eletrônico do motor. [38]**

A Figura 2.15 mostra um diagrama de blocos de entradas e saídas comuns para a maioria dos sistemas de injeção de combustível. Note-se que os dois sensores de entrada mais importantes para o sistema são o de velocidade angular da árvore de manivelas e o de carga imposta ao motor. O requisito básico de abastecimento de combustível é determinado a partir dessas entradas de uma maneira semelhante à determinação do ponto de ignição [41].



**Figura 2.11 – Diagrama de blocos, sistema gerenciamento eletrônico. [42]**

A função do sistema de gerenciamento eletrônico do motor é fornecer a quantidade de combustível exatamente dosada, necessária aos diversos regimes de funcionamento do motor. A unidade de comando eletrônico - UCM recebe vários sinais de entrada, provenientes dos diversos sensores que enviam informações precisas sobre as condições instantâneas do funcionamento do motor. Então, a unidade de comando processa essas informações recebidas e calcula o tempo adequado de injeção do combustível, ângulo de ignição, etc., para aquela condição instantânea de funcionamento do motor. A UCM através de um sinal elétrico promove a abertura do eletroinjeter de combustível, permitindo a passagem do volume ideal de combustível (mantido a pressão constante no tubo distribuidor a jusante do eletroinjeter) para que ocorra a atomização do combustível, facilitando sua mistura com o ar admitido pelo cilindro. Este tempo também é conhecido como tempo de injeção ( $T_i$ ).

Sensores são componentes que estão instalados em vários pontos do motor e servem para enviar informações à unidade de comando (sinais de entrada) Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Sinais de entrada UCM.

SENSOR		UTILIZADO PARA	OBSERVAÇÕES
Sensor de Temperatura do Motor (do líquido arrefecedor)	<b>ECT</b>	Controlar a rotação de marcha lenta; ajustar a relação ar/combustível da mistura; determinar o avanço ideal da ignição.	Gera um sinal elétrico que é enviado a ECU
Sensor de Rotação do Motor	<b>CKP</b>	Controle do avanço da ignição; especificamente, a parcela do avanço que depende da velocidade de rotação; determinação do momento da injeção do combustível.	Este sensor envia um sinal pulsado (digital) cuja frequência é proporcional à velocidade de rotação do motor (RPM).
Sensor de Posição da Válvula de Aceleração	<b>TPS</b>	Ajustar o avanço da ignição; controlar a relação ar/combustível: ajustar o enriquecimento nas acelerações de acordo com a velocidade com que se abre a borboleta; empobrecimento da mistura nas desacelerações.	A posição da borboleta é uma medida da carga do motor.
Sensor de Pressão Absoluta do Coletor de Admissão	<b>MAP</b>	Ajustar a relação ar/combustível; calcular o avanço da ignição	Gera um sinal elétrico cuja tensão ou frequência, varia com a pressão absoluta do coletor de admissão. Com esta informação a ECU conhece a carga do motor.
Sensor de Temperatura do Ar Admitido	<b>ACT</b>	Controlar a relação ar/combustível; determinar a densidade do ar admitido, necessária ao cálculo da massa de ar; ajustar o ponto de ignição.	Está montado no coletor de admissão, e informa, a ECU, a temperatura do ar admitido.
Sensor de Oxigênio (sonda lambda)	<b>HEGO</b>	Ajustar a quantidade de combustível injetada a fim de manter a relação ar/combustível da mistura no valor mais adequado às condições de funcionamento do motor.	Está instalado no coletor de escape; informa à unidade de comando a presença ou não de oxigênio nos gases de escape.
Módulo do pedal acelerador		Informa a posição do pedal do acelerador através de dois potenciômetros.	A abertura da borboleta necessária para cumprir o desejo do motorista é calculada pela UCE, levando em conta a condição de funcionamento do motor naquele momento e convertida em sinais de ativação para o acionamento da borboleta.
Sensor de Velocidade do Veículo	<b>VSS</b>	Informar ao módulo a velocidade do veículo para ajustes na marcha lenta e desacelerações.	É um sinal pulsado (digital), o gerador de pulsos instalado geralmente, no eixo de saída da transmissão ou no eixo do velocímetro.
Sensor de detonação	<b>KS</b>	Detectar a presença de detonação.	Juntamente com a ignição mapeada permite obter máximo proveito da potência oferecida e ao mesmo tempo proteger o motor dos possíveis danos causados pela detonação.

Os atuadores são componentes que recebem informações da unidade de comando e atuam no sistema de injeção, variando o volume de combustível que o motor recebe, fornecendo a centelha de ignição, corrigindo o ponto de ignição, rotação da marcha lenta, etc., Tabela 2.3.

**Tabela 2.2 – Saída de sinais da UCM.**

ATUADOR		UTILIZADO PARA	OBSERVAÇÕES
Módulo de ignição	<b>DIS</b>	Gerar alta tensão para o sistema de ignição.	O módulo de ignição recebe da unidade de comando um sinal de baixa potência, geralmente uma onda quadrada, com a que controla a corrente que circula pelo primário da bobina (alta corrente), antes do instante de geração da centelha
Eletroinjetores		Controla o volume de combustível.	Atua através de comandos enviados pela ECU.
Regulador de pressão		Limitar a pressão de trabalho do combustível no tubo distribuidor.	Instalado no módulo da bomba no tanque de combustível.
Bomba de combustível		Gerar vazão de combustível para o sistema.	Possui acionamento elétrico. Alimenta o sistema sem flutuações independente da carga do motor.
Módulo de controle eletrônico	<b>ECU</b>	É o centro de operação de todos os componentes do sistema de alimentação de combustível. Tem a função de receber e monitorar os dados recebidos dos sensores, gerenciando os atuadores conforme as condições de trabalho solicitadas ao motor.	Exerce também a função de diagnóstico do sistema.
Borboleta motorizada (Drive by wire)		Controlar a entrada de ar no motor.	Recebe o sinal PWM calculado pela UCE, para o devido posicionamento da borboleta.
Válvula de ventilação do canister		Liberar os vapores de combustível proveniente do tanque, para queima junto com a mistura ar/combustível	Abertura controlada pela ECU levando-se em consideração o funcionamento do motor.
Bomba da partida à frio		Injetar gasolina de acordo com a temperatura ambiente.	Permite o motor entrar em funcionamento em dias frios.

[44]

### 2.7.2 Cálculos relação ar/combustível

A proporção ideal da massa de ar e combustível para a combustão completa é de 14,7:1 (E0 - gasolina pura). Isto é dado como  $\lambda = 1$ , que é conhecido como valor estequiométrico. Este valor pode ser calculado através do número exato de átomos de oxigênio, que são necessários para oxidar completamente o número

particular de átomos de hidrogênio e de carbono no combustível a base de hidrocarbonetos, depois multiplicando pela massa atômica dos respectivos elementos [38].

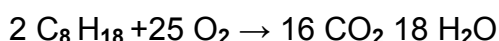
Existe número de diferentes famílias de moléculas de hidrocarbonetos; algumas das mais comuns são [1]:

- Parafinas, por exemplo, o metano - CH<sub>4</sub>
- Olefinas, por exemplo, o eteno - C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>
- Aromáticos, por exemplo, o benzeno - C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>
- Álcoois, por exemplo, o etanol - CH<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

A relação ar-combustível ideal, para cada um destes pode ser calculada a partir da equação química balanceada e a massa atômica de cada átomo. As massas atômicas de interesse são:

- Carbono (C) = 12
- Hidrogênio (H) = 1
- Oxigênio (O) = 16

A equação química balanceada para a completa combustão de iso-octano é o seguinte:



A massa molecular de 2 C<sub>8</sub> H<sub>18</sub> é:

$$(2 \times 12 \times 8) + (2 \times 1 \times 18) = 228$$

A massa molecular de 25 O<sub>2</sub> é:

$$(25 \times 16 \times 2) = 800$$

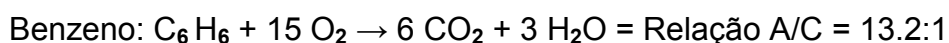
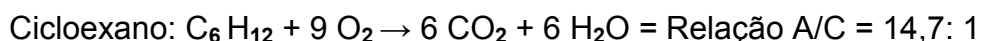
Portanto, a relação oxigênio/iso-octanas é de 800:228 ou 3,5:1; em outras palavras, para queimar 1 kg de combustível utiliza-se 3,5 kg de oxigênio. O ar atmosférico contém 23% de oxigênio em massa (21% por volume), o que significa que 1 kg de ar contém 0,23 kg de oxigênio. Além disso, existe 1 kg de oxigênio em 4.35 kg de ar.

A proporção ideal de ar-combustível (A/C) para a combustão completa de iso-octano é  $3,5 \times 4.35 = 15,2:1$ .



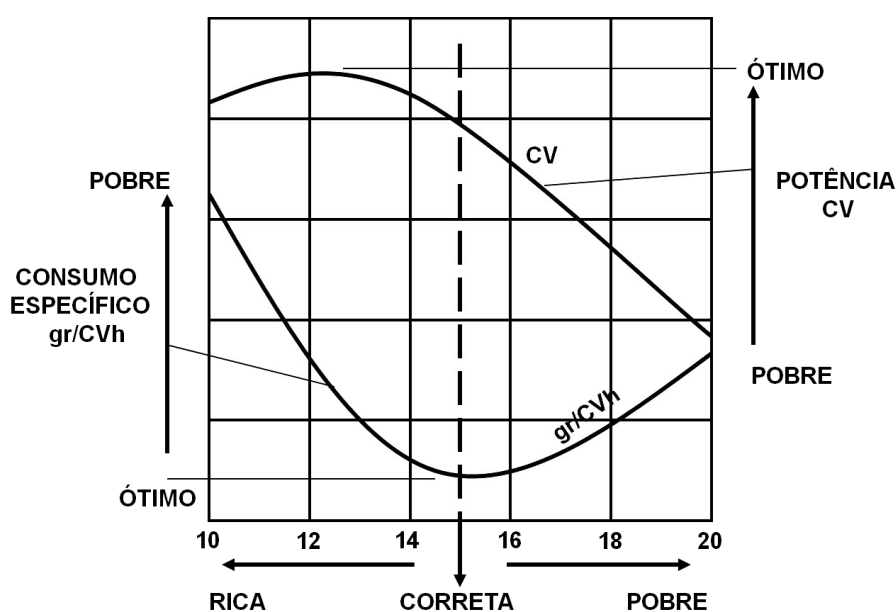
Se um cálculo semelhante é levado a cabo para o ciclo-hexano e benzeno,

os resultados são os seguintes.



Os exemplos anteriores servem para explicar a forma como a relação ar/combustível é calculada, e a gasolina sendo uma mistura de uma série de frações, tem uma relação ar/combustível ideal, de 14,7:1

Este número é, no entanto, apenas o ideal teórico e não leva em conta os poluentes produzidos e o efeito da relação ar/combustível tem sobre o desempenho do motor. Com sistemas de controle de combustível do motor modernos, é possível definir a relação ar/combustível exatamente na proporção estequiométrica. Como de costume, porém, um compromisso deve ser buscado como para a configuração ideal. A Figura 2.16 mostra um gráfico que compara a potência do motor e consumo específico de combustível, alterando-se a relação ar/combustível [38].



**Figura 2.12 – Curva do consumo específico x função do desempenho. [45].**

A Figura 2.17 apresenta a influência da relação ar/combustível na emissão dos três principais poluentes gerados pelo motor de combustão interna do ciclo Otto. Uma janela entre 0,97 a 1,03 do valor de lambda é frequentemente um compromisso adequado, visando alcançar uma alta taxa de tratamento dos gases pelo conversor catalítico.

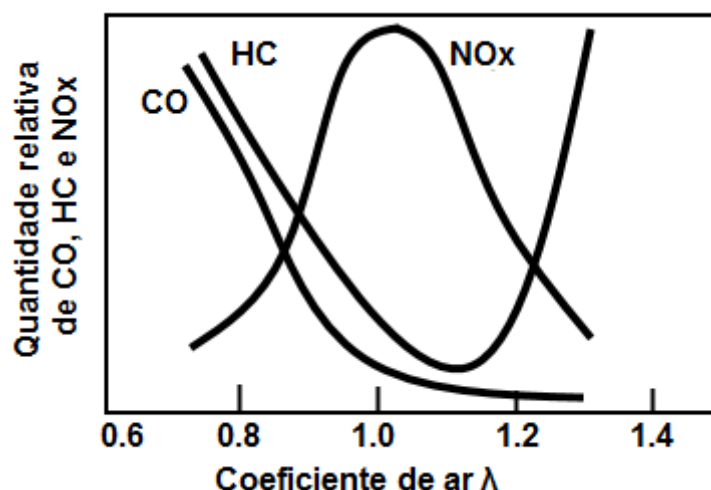


Figura 2.13 – Coeficiente de ar  $\lambda$  x composição dos poluentes. [37], [38]

O valor da relação estequiométrica depende do combustível considerado. A Tabela 2.4 apresenta a relação ar/combustível estequiométrica para diversos combustíveis comumente utilizados nos motores de combustão interna. Os valores são aproximados.

Tabela 2.3 – Relação ar/combustível estequiométrica.

COMBUSTÍVEL	COMPOSIÇÃO	RELAÇÃO
Gasolina	86% C + 14% H	14,7:1
Etanol	52% C + 13% H + 35% O	8,5 a 9:1
Metano (GNV)	75% C + 25% H	17,2:1
Gasolina + Etanol	77,8% C + 13,8% H + 8,4% O	12,5 a 13:1

[46]

Como exemplo, no caso da gasolina (sem adição de Etanol), com uma composição de 86% de carbono e 14% de hidrogênio, são necessárias, em peso, 14,7 partes de ar para cada parte de gasolina, para se obter uma mistura estequiométrica [46].

Para a homologação dos veículos quanto a emissão de gases de exaustão, são utilizados combustíveis, conforme preconizado pela norma ABNT ISO 8178-5 [47].

### 2.7.3 Ajuste fino na mistura ar/combustível

A regulamentação atual de emissões veiculares torna obrigatório o controle

em malha fechada da mistura ar-combustível (closed loop) em conjunto com um conversor catalítico de três vias.

O princípio de funcionamento do controle fino da mistura “closed loop” é o seguinte: o sensor lambda produz uma tensão que é proporcional ao teor de oxigênio residual presente nos gases de escape, o que por sua vez é proporcional à relação de ar-combustível. No cenário ideal, esta tensão é de cerca de 450mv. Se a tensão recebida pela UCM é inferior a este valor (mistura pobre) a quantidade de combustível injetado é ligeiramente aumentada. Se a tensão do sinal está acima do limiar (mistura rica), a quantidade de combustível é reduzida. Esta alteração na relação ar-combustível não deve ser muito repentina, pois pode causar uma irregularidade no funcionamento motor. Para evitar esta situação, a UCM contém um integrador, o qual muda a mistura em períodos determinados de tempo. Existe também um atraso entre a formação da mistura no coletor e a medição do oxigênio dos gases de escape. Isto é devido ao ciclo de funcionamento do motor e a velocidade de entrada da mistura, o tempo para os gases de escape para atingir o sensor e o tempo de resposta do sensor. Isso às vezes é conhecido como 'tempo morto' e pode ser algo em torno de um segundo em marcha lenta, ou apenas algumas centenas de milissegundos em velocidades mais altas do motor. Devido ao tempo morto a mistura não pode ser controlada para um valor exato de  $\lambda=1$ . O integrador é ajustado para permitir a manutenção da rotação do motor, em seguida, à manutenção da mistura na janela lambda (0,97-1,03), que é faixa ideal na qual o catalizador de três vias é mais eficiente [38]-[37].

A Figura 2.18 apresenta esquematicamente como é feito o controle de lambda, para posterior tratamento dos gases por um catalisador de três vias (CTV).

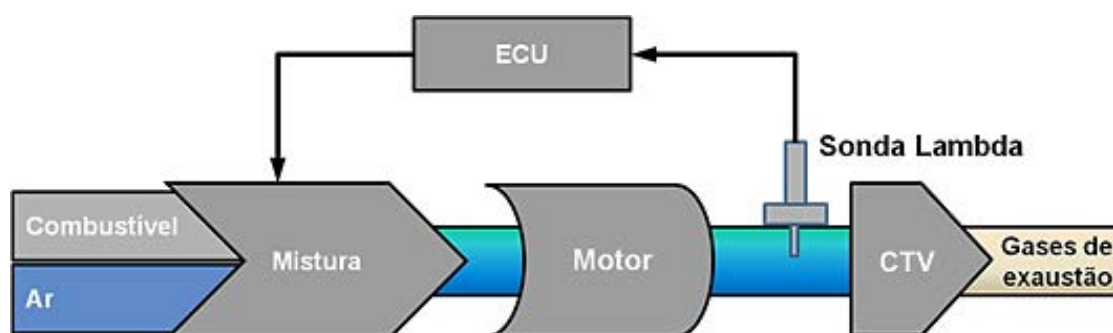


Figura 2.14 – Controle em malha fechada. [8][38]



Para isso, o sistema de gerenciamento eletrônico opera com duas estratégias de controle para determinar a quantidade exata de combustível fornecida ao motor em dado momento, são elas:

- a) **Controle em malha fechada da mistura A/C:** Em função do sinal recebido do sensor de oxigênio, a UCM monitora o teor de oxigênio presente nos gases de escape e com base nos parâmetros gravados em sua memória, determina a condição instantânea da mistura (rica ou pobre), o circuito regulador efetua o ajuste do tempo de injeção para fornecimento da quantidade de combustível necessária para o motor naquele momento, garantindo o máximo desempenho, o menor consumo de combustível, bem como a correta eficiência do conversor catalítico. A UCM e o sensor de oxigênio operam em sistema de malha fechada em tempo real, conforme mostra a Figura 2.19. Esta estratégia permite um controle muito preciso da mistura, em função do teor de oxigênio presente nos gases de escape que é diretamente proporcional à relação de ar-combustível.

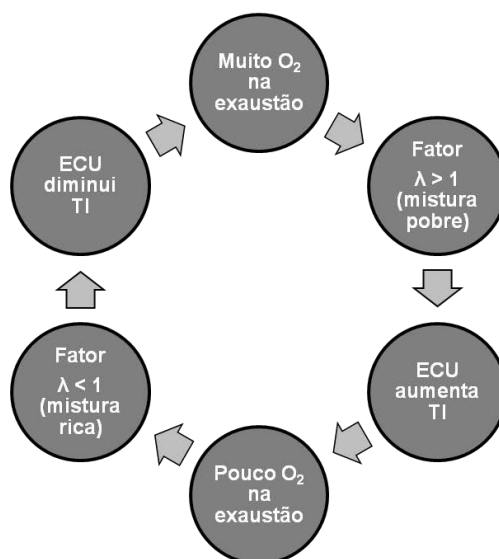


Figura 2.15 – Controle em malha fechada. [41]

- b) **Controle em malha aberta da mistura A/C:**

Quando uma mistura ar/combustível pobre ou rica é desejada devido a determinadas estratégias da UCM, o circuito regulador é aberto (Open

Loop), isto é, a UCM não toma providências de correção da mistura ar/combustível em função do sinal recebido do sensor de oxigênio, por exemplo, nas condições de freio motor “Cut-off” e a de aceleração rápida.

#### 2.7.4 Emissões de gases de exaustão

A Figura 2.20 mostra os resultados teóricos da queima de um combustível de hidrocarbonetos, ou seja, ideal. Entretanto, na Figura 2.21, observa-se os resultados reais da combustão, com o motor operando sob condições normais. Note-se que este resultado é antes de qualquer tratamento posterior, por exemplo, por um conversor catalítico [38].

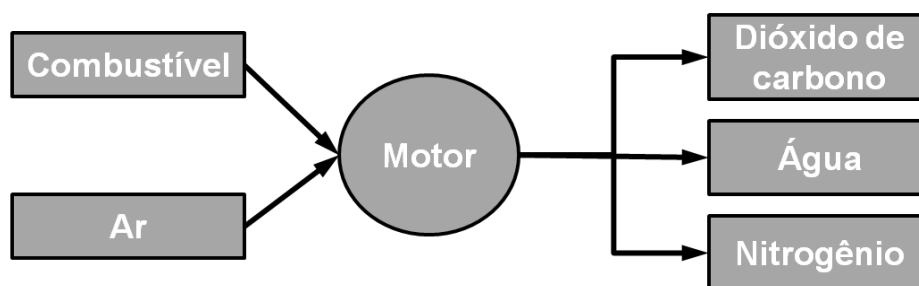


Figura 2.16 – Resultados teóricos da queima de um combustível. [38]

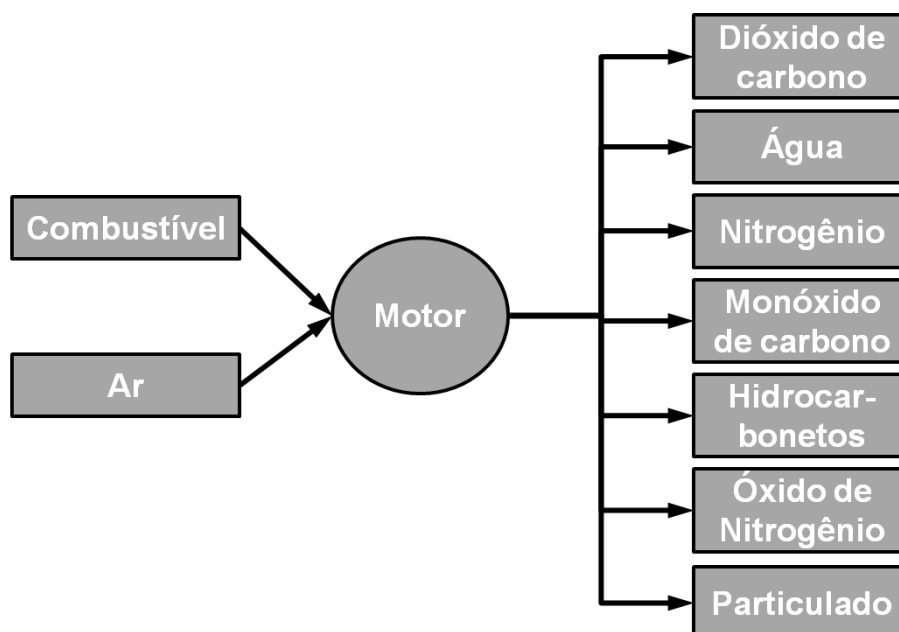
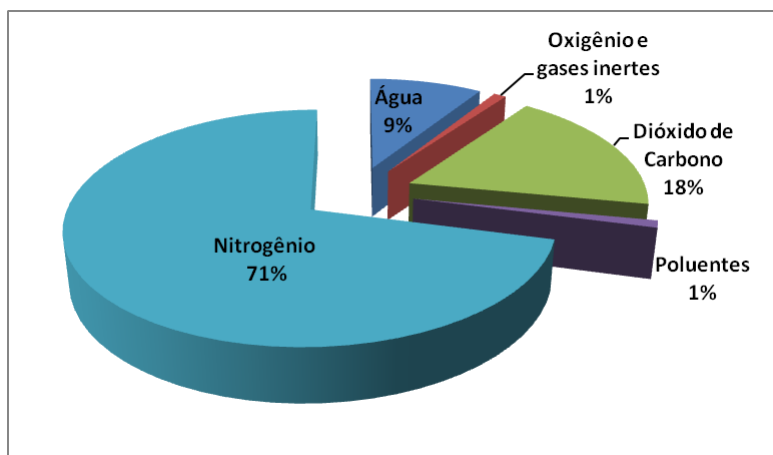


Figura 2.17 – Resultados reais de combustão. [38]

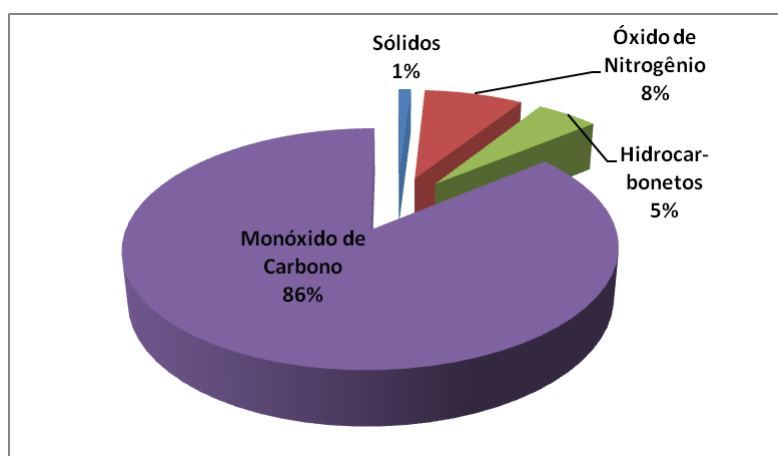
A Figura 2.22 mostra os percentuais aproximados da composição das emissões de gases de exaustão. O volume de poluentes é pequeno, entretanto, por

serem tão venenosos, eles são indesejáveis e alvo de forte legislação, para incentivar a sua redução. Os valores reais dessas emissões variam de acordo com o projeto, as condições de funcionamento, da temperatura e da operação suave do motor, para citar apenas algumas variáveis [13]-[38]-[13][48].



**Figura 2.18 – Composição dos gases de exaustão. [38]**

A Figura 2.23 mostra os quatro principais componentes nocivos e prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, presentes na porção “Poluentes 1%” do gráfico anterior.



**Figura 2.19 – Composição da porção 1% poluente. [38]**

Na tabela 2.5 estão relacionados os gases provenientes da combustão em motores de ignição por centelha do ciclo Otto, bem como as características e efeitos sobre o ser humano. [49]-[50]

**Tabela 2.4 – Principais componentes prejudiciais à saúde.**

SUBSTÂNCIA	DESCRIÇÃO
Monóxido de Carbono (CO)	Este gás é muito perigoso, mesmo em baixas concentrações. Ele não tem cheiro ou gosto e é incolor. Quando inalado combina no corpo com as células vermelhas do sangue, impedindo-os de transporte de oxigênio. Se absorvido pelo corpo que pode ser fatal em muito pouco tempo.
Óxido de Nitrogênio (NOx)	O óxido de nitrogênio é incolor e inodoro quando saem do motor, mas assim que ele atinge, a atmosfera se mistura com o oxigênio, então, óxido de nitrogênio é formado. Ele é marrom avermelhado e ter um sabor acre picante. Este composto afeta o sistema respiratório quando inalado. Quando combinado com vapor de água, forma o ácido nítrico, que é muito prejudicial para a traqueia e os pulmões. O óxido de nitrogênio é também um fator que contribui para a formação da chuva ácida.
Hidrocarbonetos (HC)	Um número de diferentes hidrocarbonetos são emitidos a partir de um motor e podendo estar parcialmente queimados ou não. Quando não queimado que se misturam com a atmosfera, podem contribuir para formar o smog. Os hidrocarbonetos podem também ser cancerígenos.
Material particulado (PM)	Esta rubrica abrange, principalmente, chumbo e carbono. O chumbo foi tradicionalmente adicionado à gasolina para diminuir a sua taxa de queima de modo a reduzir a detonação. É prejudicial à saúde bem como causar danos cerebrais, especialmente em crianças. Chumbo acabará por ser extinto, bem como, todos os motores agora funcionam com combustível sem chumbo. Partículas de fuligem ou de carbono são mais um problema em veículos movidos a diesel e estes limites são estabelecidos pela legislação.
Aldeídos (CHO)	Aldeídos são compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos álcoois. Assim, o álcool metanol ao perder um átomo de hidrogênio dá origem ao aldeído fórmico e o etanol, ao acético. Os aldeídos apresentam capacidade de irritar os olhos e as vias aéreas superiores em humanos, podem causar dores de cabeça, sensação de desconforto e de irritabilidade. Há relatos de incidência de asma causada por irritação no trato respiratório superior devido à exposição ao formaldeído.

[38]

Diante da importância dos regimes de operação do motor sob carga reduzida no comportamento médio do mesmo e, considerando que as práticas induzidas para correção da emissão em marcha lenta afetam os demais regimes de funcionamento do motor, é esperado que as variações nas concentrações de CO e HC em marcha lenta sejam refletidas nos correspondentes fatores médios de emissão do veículo, em gramas por quilômetro rodado, medido em ciclos de ensaio padronizados e, conseqüentemente, quando sob utilização normal.

Tal hipótese também é suportada pelo fato de que os defeitos mais grosseiros identificados em marcha lenta se estendem aos demais regimes proporcionalmente, como por exemplo, a falta ou inoperância de um conversor catalítico ou as falhas de

sensores e eletroinjetores.

Esta correlação não é a mesma para todos os modelos de motor e não permite a conversão da emissão em marcha lenta diretamente no fator absoluto de emissão do veículo em g/km. Entretanto, a variação observada entre a primeira e a última inspeção em motores com características tecnológicas semelhantes pode ser considerada como parâmetro de proporcionalidade para a estimativa da variação da emissão de CO e HC, em massa, especialmente se consideradas em termos estatísticos. [51]

Na tabela 2.6 consta os limites de emissões para os veículos leves. A Fase “L-5” para veículos produzidos a partir de 1º/01/1999, e da Fase “L6” para os veículos produzidos a partir de 1º/01/2014. A cada implantação de uma nova fase, as restrições quanto às emissões ficam maiores [3]-[9].

**Tabela 2.5 – Limites de Emissões para Veículos Leves – PROCONVE.**

POLUENTES	LIMITES	
	Fase L-5 Desde 1º/1/2009	Fase L-6 <sup>(1)</sup> A partir de 1º/1/2014
Monóxido de carbono (CO em g/km)	2,00	1,30
Hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,30 <sup>(2)</sup>	0,30
Hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,05	0,05
Óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,12 <sup>(3)</sup> ou 0,25 <sup>(4)</sup>	0,08
Material particulado <sup>(4)</sup> (MP em g/km)	0,05	0,025
Aldeídos <sup>(3)</sup> (CHO g/km)	0,02	0,02
Emissão evaporativa (g/ensaio)	2,0	1,5 <sup>(6)</sup> ou <sup>(5 x 6)</sup>
Emissão de gás no cárter	Nula	Nula

- (1) Em 2014 -> para todos os novos lançamentos  
A partir de 2015 -> para todos os 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;
- (5) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável;
- (6) Aplicável a todos os veículos a partir de 1º/1/2012.

[3], [9]

### 2.7.5 Limites de emissão

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, Considerando a necessidade de rever, atualizar e sistematizar a legislação referente à inspeção veicular ambiental, tendo em vista a evolução da tecnologia veicular e o desenvolvimento de novos procedimentos de inspeção, e a necessidade de

desenvolvimento sistemático de estudos de custo benefício, visando ao aperfeiçoamento contínuo das políticas públicas de controle da poluição do ar por veículos automotores, institui a RESOLUÇÃO N° 418, de 25 de novembro de 2009, que dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso.

Em seu artigo 3° o Plano de Controle de Poluição Veicular - PCPV constitui instrumento de gestão da qualidade do ar do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR e do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, com o objetivo de estabelecer regras de gestão e controle da emissão de poluentes e do consumo de combustíveis de veículos.

O artigo 32° dispõe que para a avaliação do estado de veículos em uso, devem ser utilizados os limites de emissão, conforme abaixo descrito [52].

1. Para os veículos com motor do ciclo Otto, os limites máximos de emissão de escapamento de  $CO_{\text{corrigido}}$  e  $HC_{\text{corrigido}}$ , de diluição e da velocidade angular do motor são os definidos nas Tabelas 2.7 e 2.8, abaixo:

**Tabela 2.6 – Limites máximos de emissão de  $CO_{\text{corrigido}}$ .**

Ano de fabricação	Limites de $CO_{\text{corrigido}}$ (%)			
	Gasolina	Álcool	Flex	Gás Natural
Todos até 1979 <sup>(a)</sup>	6,0	6,0	-	6,0
1980 - 1988	5,0	5,0	-	5,0
1989	4,0	4,0	-	4,0
1990-1991	3,5	3,5	-	3,5
1992-1996 <sup>(b)</sup>	3,0	3,0	-	3,0
1997 a 2002	1,0	1,0	-	1,0
2003 a 2005	0,5	0,5	0,5	1,0
2006 em diante	0,3	0,5	0,3	1,0

Em marcha lenta e a 2500 rpm para veículos automotores com motor do ciclo Otto. [52]

Obs.: Para os casos de veículos que utilizam combustíveis líquido e gasoso, serão considerados os limites de cada combustível.

Tabela 2.7 – Limites máximos de emissão de HC<sub>corrigido</sub>.

Ano de fabricação	Limites de HC <sub>corrigido</sub> (ppm de hexano)			
	Gasolina	Álcool	Flex	Gás Natural
Todos até 1979 <sup>(a)</sup>	700	1100	-	700
1980 - 1988	700	1100	-	700
1989	700	1100	-	700
1990-1991	700	1100	-	700
1992-1996 <sup>(b)</sup>	700	700	-	700
1997 a 2002	700	700	-	700
2003 a 2005	200	250	200	500
2006 em diante	100	250	100	500

**Em marcha lenta e a 2500 rpm para veículos com motor do ciclo Otto.**

[52]

Obs.: Para os casos de veículos que utilizam combustíveis líquido e gasoso, serão considerados os limites de cada combustível.

a) Inclui os veículos tipo buggy ou réplica enquadrados no Art.12 da Portaria IBAMA 167/97.

b) Inclui os veículos comerciais leves ano-modelo 1997 com massa de ensaio até 1700 kg, enquadrados no Art.13 da Portaria IBAMA 167/97.

Definições:

**CO:** monóxido de carbono contido nos gases de escapamento, medido em % do volume.

**CO<sub>corrigido</sub>:** é o valor medido de monóxido de carbono e corrigido quando à diluição dos gases amostrados, conforme a expressão:

$$CO_{corrigido} = \frac{15}{(CO + CO_2)} \times CO_{medido} \quad (2.3)$$

**HC<sub>corrigido</sub>:** é o valor medido de HC e corrigido quanto à diluição dos gases amostrados, conforme a expressão;

$$HC_{\text{corrigido}} = \frac{15}{(CO + CO_2)_{\text{medidos}}} \times HC_{\text{medido}} \quad (2.4)$$

**Fator de diluição dos gases de escapamento:** é a razão volumétrica de diluição da amostra de gases de escapamento devida a entrada de ar no sistema, dada pela expressão:

$$F_{\text{diluição}} = \frac{15}{(CO + CO_2)_{\text{medidos}}} \quad (2.5)$$

Para o combustível GNV aplicar-se a seguinte equação:

$$F_{\text{diluição}} = \frac{12}{(CO + CO_2)_{\text{medidos}}} \quad (2.6)$$

Para o cálculo do valor Lambda  $\lambda$  utiliza-se a equação simplificada de J. Brettschneider. Esta simplificação tem como base a suposição de que o conteúdo de água no combustível, no ar atmosférico, bem como, o conteúdo de NOx nos gases de escape são insignificantes e está apresentada abaixo pela equação (2.7) [53]:

$$\lambda = \frac{[CO_2] + \frac{CO}{2} + [O_2] + \left\{ \left( \frac{H_{CV}}{4} \times \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{[CO_2]}} - \frac{O_{CV}}{2} \right) \times ([CO_2] + [CO]) \right\}}{\left( 1 + \frac{H_{CV}}{4} - \frac{O_{CV}}{2} \right) \times \{ ([CO_2] + [CO]) + (K_1 \times [HC]) \}} \quad (2.7)$$

onde:

[ ] concentração em % vol., para HC em ppm;

$K_1$  fator de correção para o HC expresso em ppm, equivalente de n-Hexano ( $C_{16}H_{14}$ ). Seu valor na fórmula é de  $6 \times 10^{-4}$ ;

$H_{CV}$  proporção atômica de Hidrogênio e Carbono no combustível. O valor arbitrário é de 1,7261;

$O_{CV}$  proporção atômica de Oxigênio e Carbono no combustível. O valor arbitrário é de 0,0176;



- O<sub>2</sub>* Oxigênio em % vol.;
- H<sub>c</sub>* Hidrocarbonetos em ppm;
- CO<sub>2</sub>* Dióxido de Carbono em % vol.;
- CO* Monóxido de Carbono em % vol.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como foco a análise do desempenho funcional do sensor de oxigênio, aplicado a um motor de teste (MCI), em condições reais e pré-determinadas de operação, utilizando-se dois combustíveis: Etanol (E100) e Gás Natural Veicular (GNV), em duas faixas de operação (rotação) do motor na condição estabilizada [54], sendo a rotação de 1000 rpm que é próxima à condição de marcha lenta e a de 3000 rpm que é adjacente à condição de torque máximo, corresponde a condição média de velocidade de cruzeiro dos veículos. Estes regimes de trabalho tem como base a RESOLUÇÃO N° 418/09 [52] e a norma ABNT NBR 6601:2012 [54]. Abaixo as curvas aproximadas de desempenho de potência (cv) e torque (Nm) para o motor de ensaio, quando utilizado como combustíveis o Etanol, Figura 3.1 e o GNV, Figura 3.2.

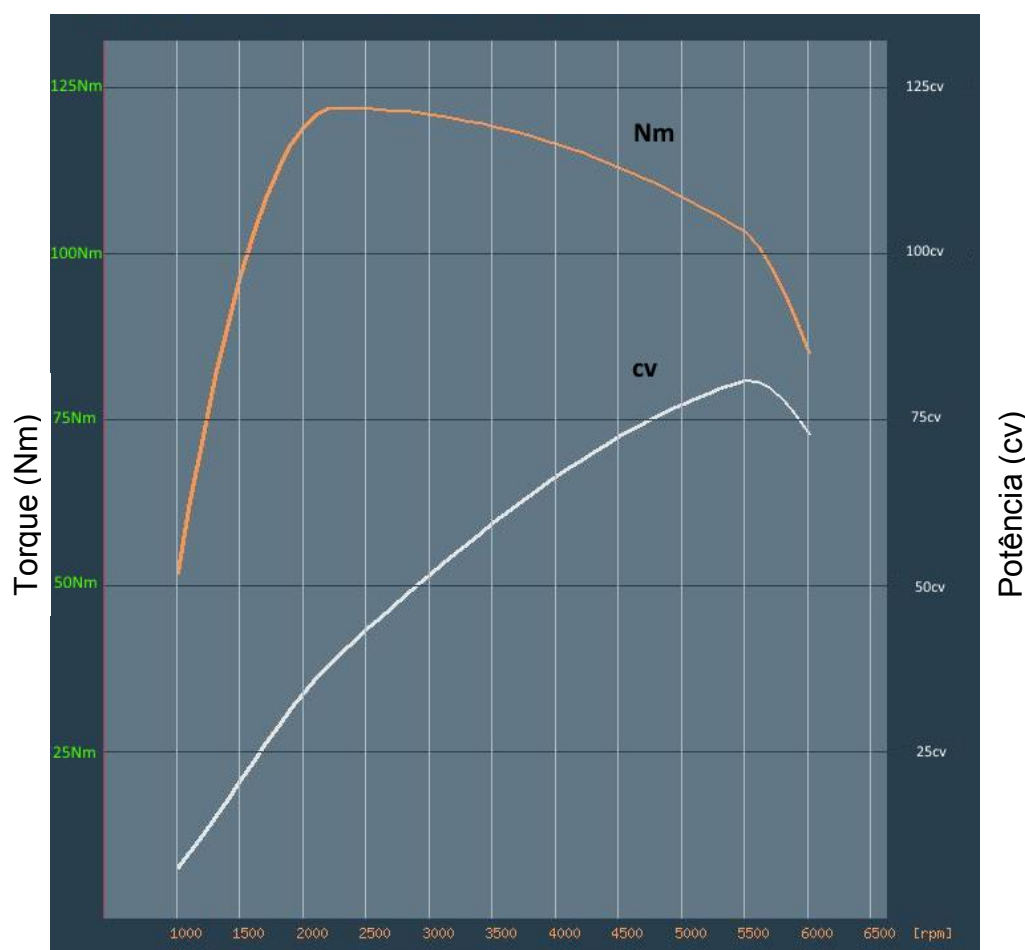
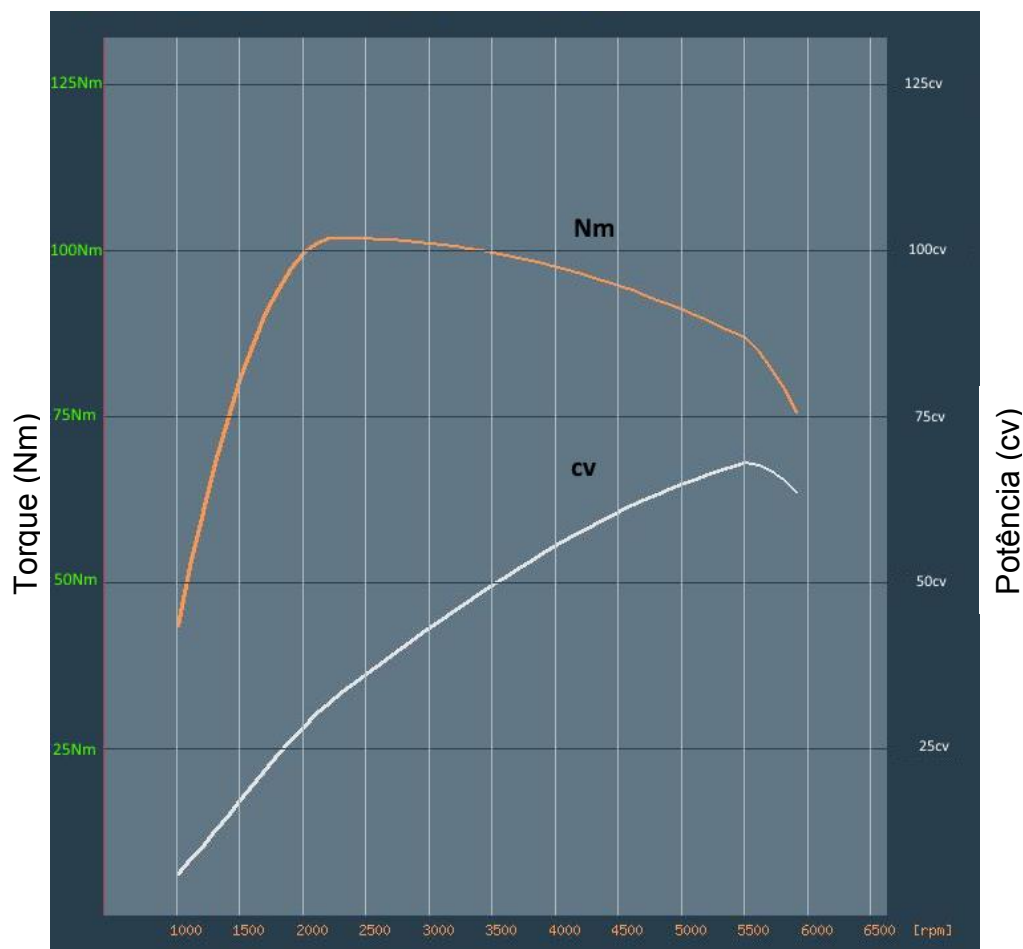


Figura 3.1 – Curva de potência e torque – Etanol. [55]



**Figura 3.2 – Curva de potência e torque – GNV. [56]**

Para comparação, serão estudados os sinais gerados individualmente pelos quatro sensores, a temperatura de operação do sensor na região onde está instalado e a composição dos gases de exaustão gerados pela combustão de ambos os combustíveis.

Os sensores utilizados nos ensaios, os procedimentos adotados para obtenção dos dados, bem como, os equipamentos e instrumentos utilizados são relacionados a seguir.

### 3.1 Sensores

Na realização dos ensaios experimentais, foram utilizados quatro sensores, específicos para o tipo de motor utilizado nos ensaios, Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Sensores utilizados nos ensaios.**

<b>SENSOR</b>	<b>MARCA</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>ORIGEM</b>
<b>S1</b>	NGK / NTK	OZA532-A10	JAPÃO
<b>S2</b>	BOSCH	LS07	EUA
<b>S3</b>	DELPHI	ES10778	CHINA
<b>S4</b>	MTE - THOMSON	7774	BRASIL

Nas Figuras 3.3 a 3.6 respectivamente os sensores utilizados S1 - NTK, S2 - BOSCH, S3 - DELPHI e S4 - THOMSON. Como se pode observar, cada fabricante possui um desenho próprio para o seu sensor. O formato de cada região, incluindo o elemento sensor varia de peça para peça.

**Figura 3.3 – Sensor S1 - NTK. [36]****Figura 3.4 – Sensor S2 - BOSCH. [36]**

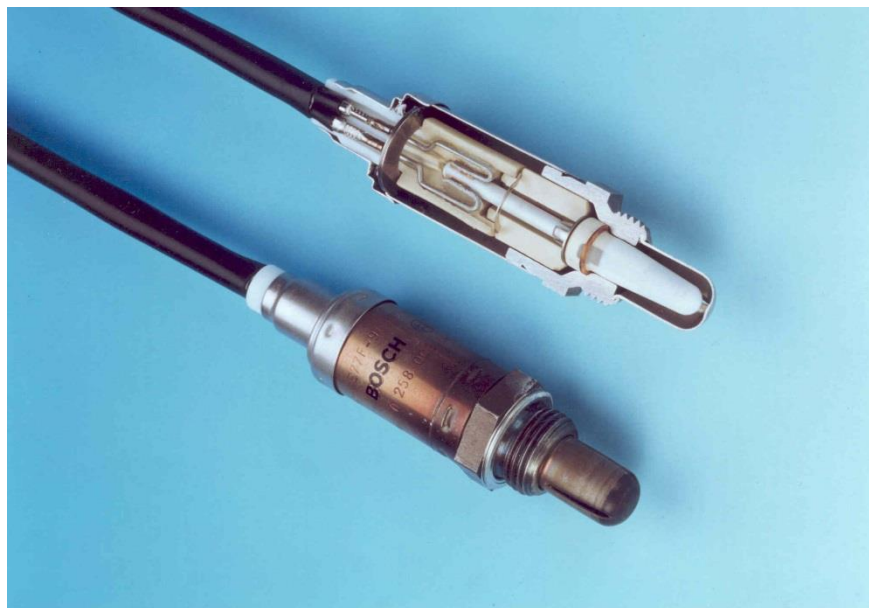


**Figura 3.5 – Sensor S3 - DELPHI. [36]**



**Figura 3.6 – Sensor S4 - THOMSON. [36]**

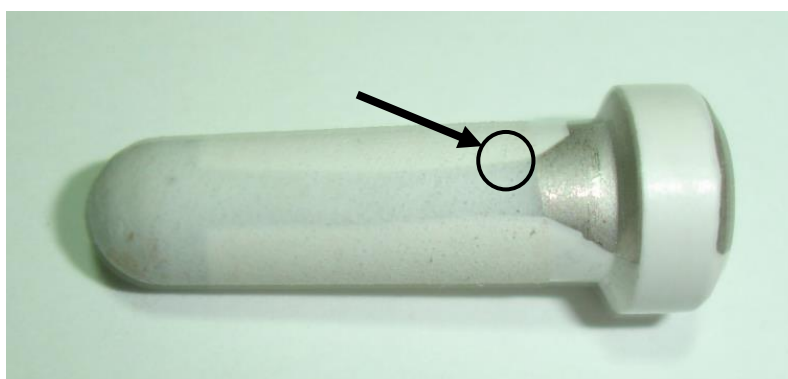
O elemento sensor de cerâmica feito à base de dióxido de zircônio tem forma de dedal, como pode ser observado na Figura 3.7, revestido com eletrodos de platina na face externa e interna. Este sensor possui aquecimento interno e massa isolada.



**Figura 3.7 – Sensor de oxigênio e detalhes interno. [57]**

### **3.2 Características da superfície do sensor**

A superfície externa do sensor possui uma característica própria, desenvolvida para suportar as condições extremas de operação na região onde é instalado. Sobre o substrato de zircônia estabilizado com ítria, é aplicada uma camada de platina porosa (Pt) que é posteriormente recoberta com uma camada também porosa de engobe, que protege o elemento sensor contra a ação agressiva de alguns componentes que compõem os gases de exaustão, conferindo-lhe uma vida útil maior [8]. No detalhe da Figura 2.8 observa-se a cerâmica do sensor, o eletrodo externo e a camada de proteção.



**Figura 3.8 – Sensor tipo dedal e indicação da área analisada. [36]**

Para a mesma área da figura anterior, foi realizado um ensaio de rugosidade superficial, que permitiu verificar a topografia do sensor. O ensaio foi realizado em um microscópio confocal DCM-3D Leica, na área compreendida entre a camada porosa e o eletrodo de platina, Figura 2.9. observa-se que a espessura da camada é de 8,414  $\mu\text{m}$ , com rugosidade RMS de 8.437  $\mu\text{m}$  e Ra de 6.1502  $\mu\text{m}$  Figura 2.10.

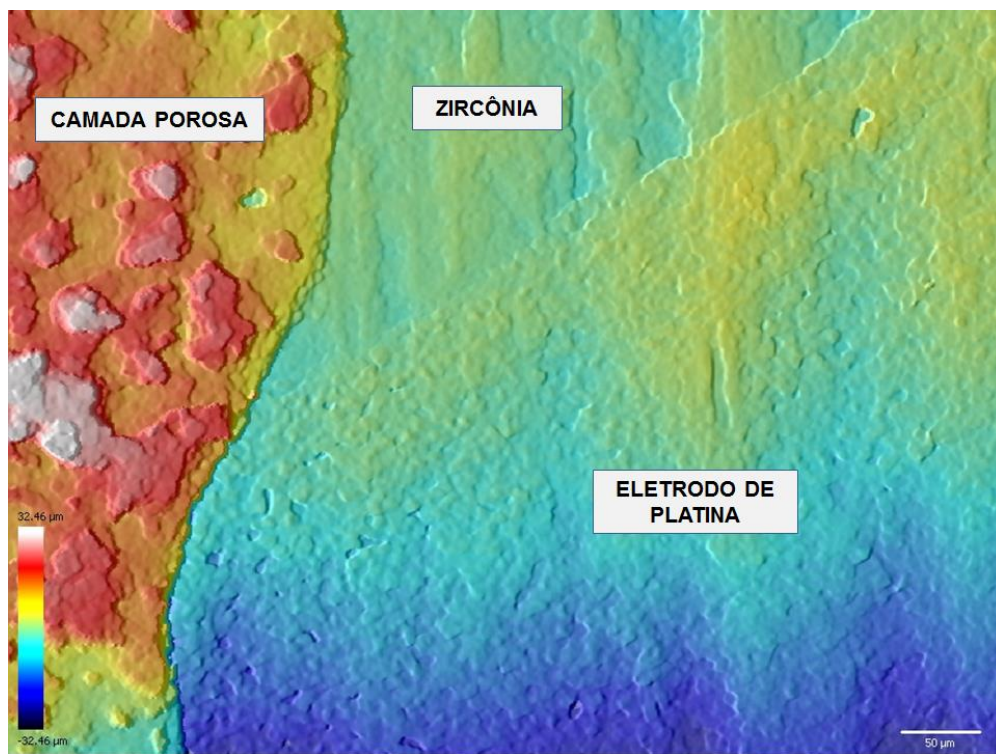


Figura 3.9 – Superfície do sensor. [36]

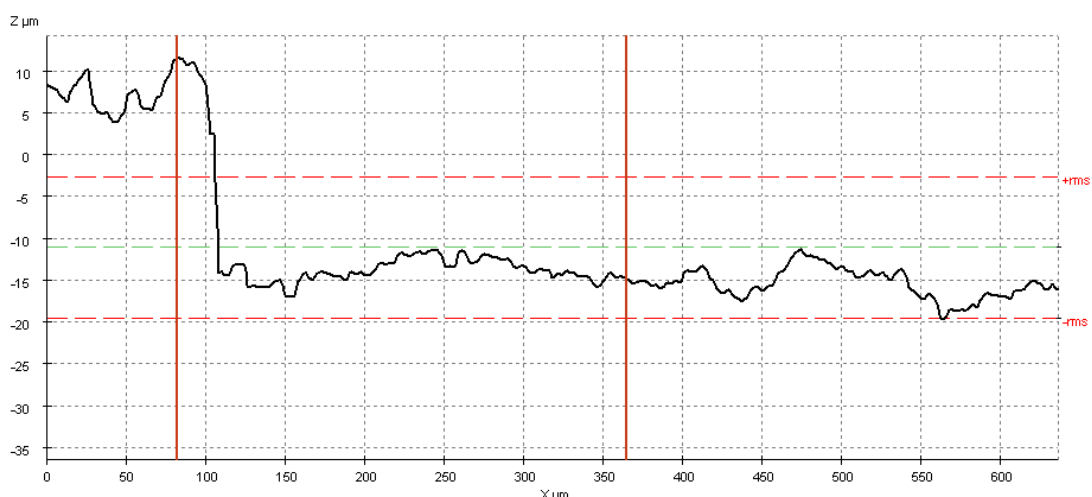
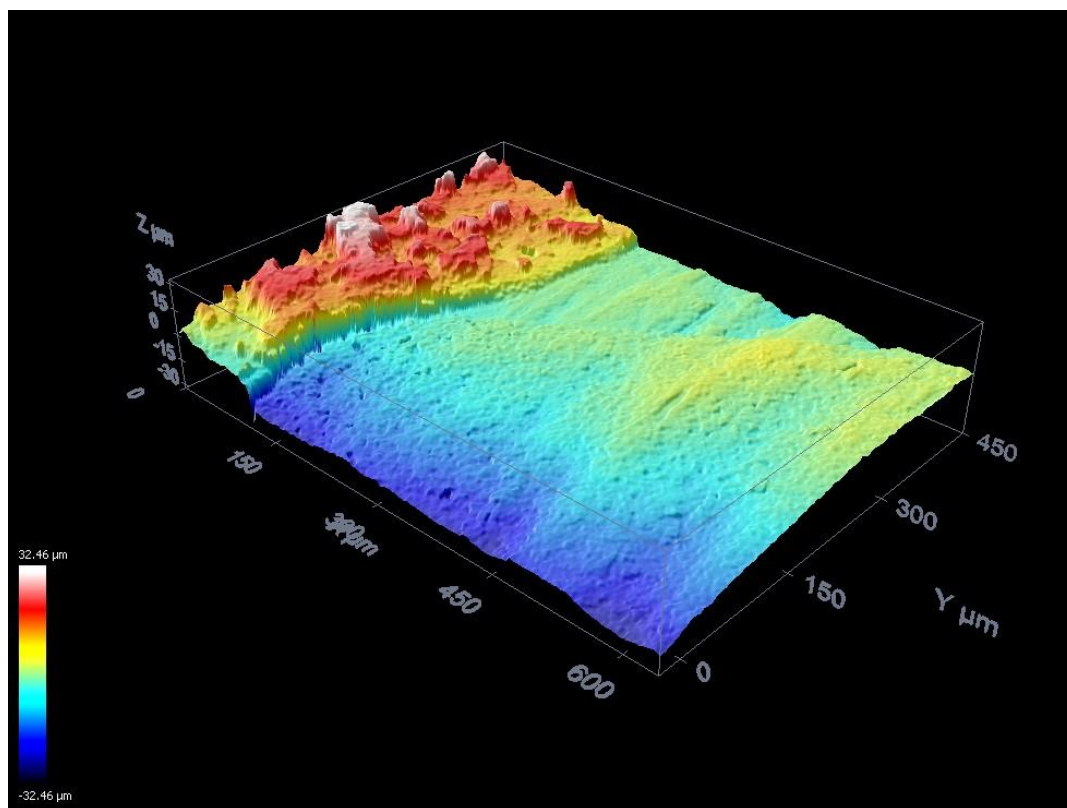


Figura 3.10 – Topografia do sensor. [36]



Na Figura 2.11, tem-se a mesma área analisada anteriormente, representada na forma de gráfico em 3D.



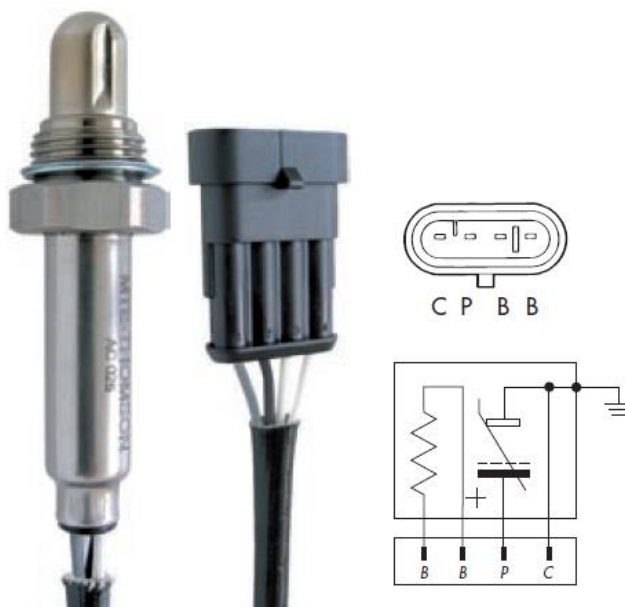
**Figura 3.11 – Gráfico 3D - topografia superficial do sensor de O<sub>2</sub>. [36]**

Estes sensores possuem quatro fios em sua conexão Figura 3.8, sendo:

- Um fio na cor preta (P) - Sinal (+)
- Um fio na cor cinza (C) - Massa (-)
- Dois fios na cor branca (B) - Alimentação do aquecedor

### **3.3 Conexões com o sistema de gerenciamento do motor**





**Figura 3.12 – Esquema de ligação elétrica do sensor. [43]**

### 3.4 Motor de ensaio

No aparato experimental utilizou-se um motor FIRE 1.4 8V TETRA-FUEL, com sistema de gerenciamento eletrônico Magneti Marelli IAW 7GF, com injeção de combustível no modo sequencial indireto, que foi desenvolvido e homologado para permitir o funcionamento do motor utilizando quatro tipos diferentes de combustível:

E0 - Gasolina pura (sem adição de Etanol Anidro, disponível em alguns mercados do MERCOSUL);

E22 - Gasolina com adição de 20 à 25% de Etanol Anidro, disponível no Brasil;

E100 – Etanol Etílico Hidratado;

GNV – Gás Natural Veicular.

A Figura 3.9 apresenta os principais componentes do sistema Magneti Marelli IAW 7GF, sendo que no destaque, observa-se o eletro injetor específico para o combustível GNV.

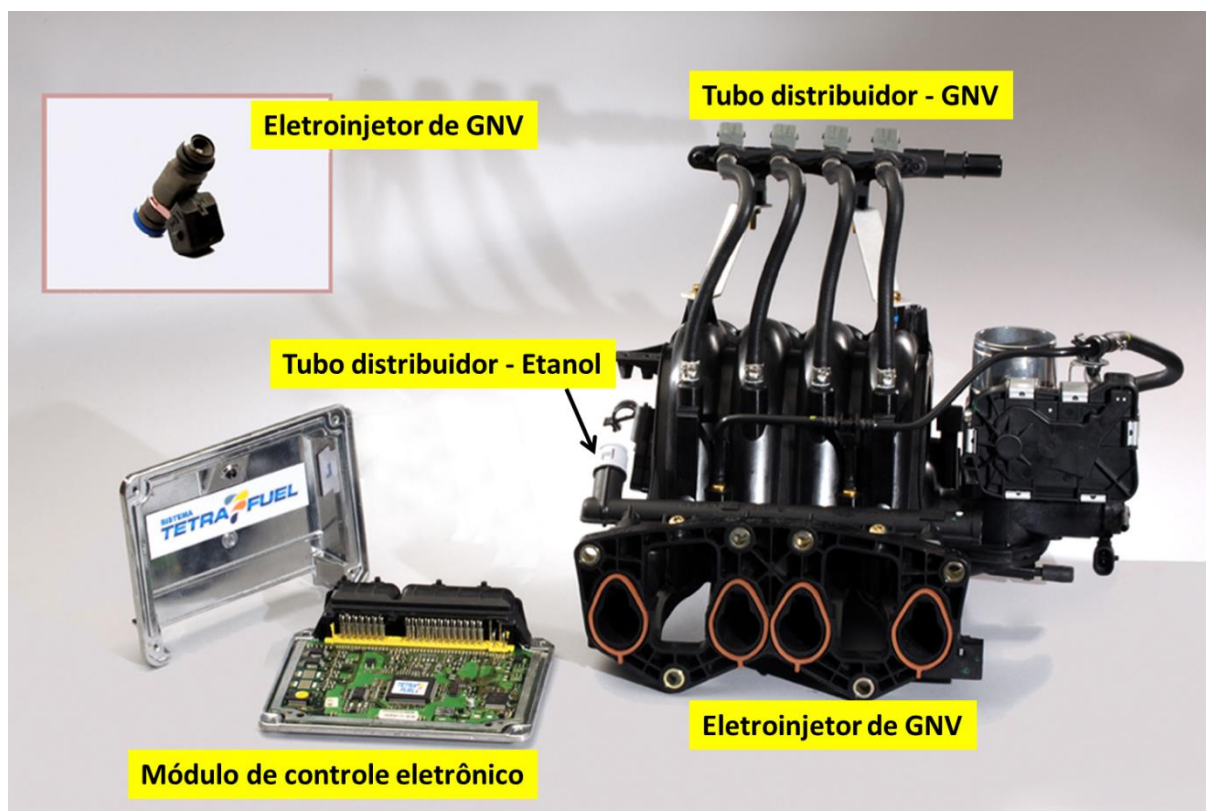


Figura 3.13 – Componentes do sistema IAW 7GF - TETRAFUEL. [58]

A Tabela 3.2 mostra os dados técnicos do motor citado.

Tabela 3.2 – Dados técnicos do motor.

Motor	FIRE 1.4 8V TETRA-FUEL
Fabricante	FIAT Automóveis S/A
Sistema de gerenciamento eletrônico	Magneti Marelli IAW 7GF
Injeção de combustível	Modo sequencial indireto
Ciclo	Otto
Layout do motor	4 cilindros em linha
Capacidade volumétrica	1.396 cc
Razão de compressão	10,35:1
Potência - ABNT (cv/kW)	81/59,6 - 5.500 rpm (Etanol 100%) 68/50,1 - 5.500 rpm (GNV)*
Torque - ABNT (kgf.m/Nm)	12,4/121,6 - 2.250 rpm (Etanol 100%) 10,4/102,2 - 2.250 rpm (GNV)*
Número de válvulas por cilindro	2
Eixo de comando de válvulas	Um no cabeçote

\*Gás Natural Veicular (GNV)

Os ensaios foram realizados com o Etanol (E100) e o GNV, em função da fase em que se apresentam (respectivamente, líquida e gasosa), bem como, da relação ar/combustível estequiométrica de 8,5 para o Etanol e 17,2 para o GNV, permitindo assim, uma análise mais abrangente do desempenho dos sensores.

O motor de ensaio atende a legislação de emissões de veículos leves do PROCONVE - Fase 5, adotando o padrão OBD II para o diagnóstico de bordo do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

O motor foi instalado em estrutura própria, que incorpora todos os subsistemas necessários para o funcionamento autônomo. As Figuras 3.10 e 3.11 mostram os detalhes da bancada experimental.



**Figura 3.14 – Motor de ensaio. [36]**



**Figura 3.15 – Motor de ensaio - Vista lateral. [36]**

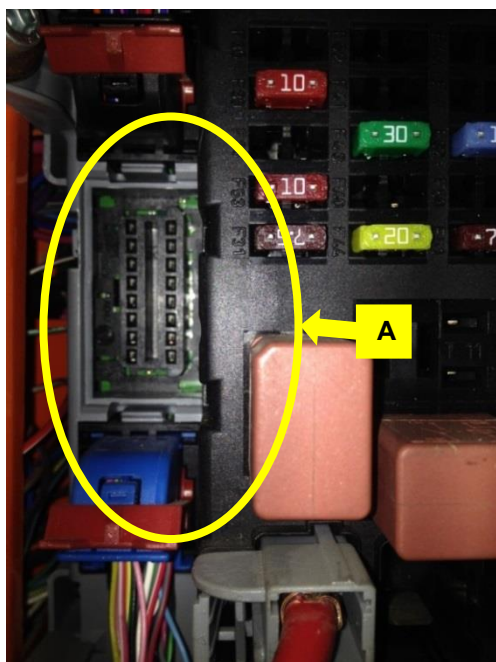
### **3.5 Aparelhagem**

#### **3.5.1 Interface com o sistema (scanner)**

Para coleta dos dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho, os sensores foram submetidos a condições reais de operação, instalados no motor de ensaio, sendo que a aquisição instantânea dos dados gerados realizadas através do conector de diagnóstico OBD BR (SAE J1962) do sistema de gerenciamento do motor Figura 3.12-a (detalhe “A”), utilizando um equipamento de diagnóstico dedicado Rasther BOX TM 536, fabricado pela Tecnomotor ligado ao conector através de um cabo Figura 3.12-b.

Este equipamento opera conectado a um computador, com um software dedicado instalado (Rasther PC). Os dados apresentados são coletados e registrados em um arquivo de dados no computador (planilha MS-Excel). O sistema foi verificado quanto a existência de anomalias e não apresentava nenhum código de falha (DTC) quando da realização dos ensaios.





a)



b)

Figura 3.16 – Conector de diagnóstico - a) lado veículo e b) lado scanner. [36]

### 3.5.2 Multímetro digital automotivo

Um multímetro digital automotivo Figura 3.13-a, com sonda de temperatura de inserção, Figura 3.13-b, foi utilizado para analisar a temperatura dos gases de exaustão.



a)



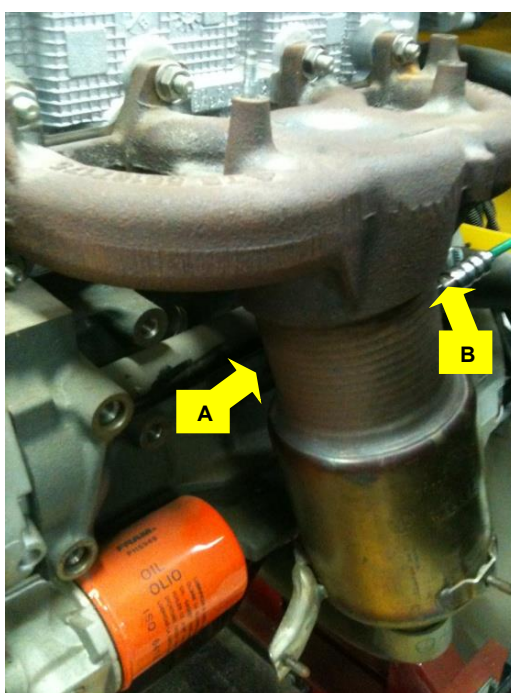
b)

Figura 3.17 – a) Multímetro automotivo e b) Sonda de temperatura. [36]

Especificações da sonda de temperatura:

Sensor - tipo termopar tipo k  
Faixa de trabalho – de -50 a 1100°C  
Resolução – 1°C  
Precisão -  $\pm(1\%)$

A medida da temperatura foi realizada no coletor de exaustão Figura 3.14 - detalhe “A”, na região diametralmente oposta a posição do sensor Figura 3.14 - detalhe “B”, e imediatamente acima antes do catalisador de três vias TWC.



**Figura 3.18 – Detalhe do coletor de escape. [36]**

### **3.5.3 Osciloscópio automotivo**

Utilizou-se um osciloscópio portátil automotivo marca Minipa, modelo MS-1005, como auxílio na verificação e análise dos sinais e dados adicionais a partir do sensor/motor.

### **3.5.4 Analisador de gases de exaustão**

Um analisador de gases de exaustão marca Napro, modelo PC Multigás, utilizado para coletar os dados referentes à emissão de gases durante a realização dos ensaios, com as seguintes especificações técnicas:

- Alimentação: 12VDC ou 110/220VAC - 60Hz

- Escalas:

CO: 0 - 15%

CO<sub>2</sub>: 0 - 20%

HC: 0 - 20000 ppm Hexano

O<sub>2</sub>: 0 - 25%

Lambda: 0 - 9.99

AFR: 0 - 99.99

Interface Serial: RS 232C

Eliminador de água Condensada

Atende as Normas "NBRs, OIML R99 CLASS I, ISO 3930 e ASM/BAR 97

### 3.6 Métodos

Para determinar o desempenho dos sensores, eles foram testados, individualmente em situação real de trabalho, usando o motor de combustão interna específico para os ensaios, operando com dois combustíveis, individualmente, o Etanol (E100) e o gás natural veicular (GNV). Os sensores alvo deste trabalho foram submetidos a condições operacionais reais, coletando-se os dados instantâneos de seu desempenho, registrados e investigados usando um equipamento de diagnóstico dedicado especial. Os dados coletados foram processados e analisados posteriormente.

A Figura 3.15 apresenta esquematicamente a configuração de todo o aparato utilizado para a realização dos ensaios, aquisição e tratamento dos dados analisados, durante os experimentos desenvolvidos em bancada de testes montada especialmente para esta finalidade.

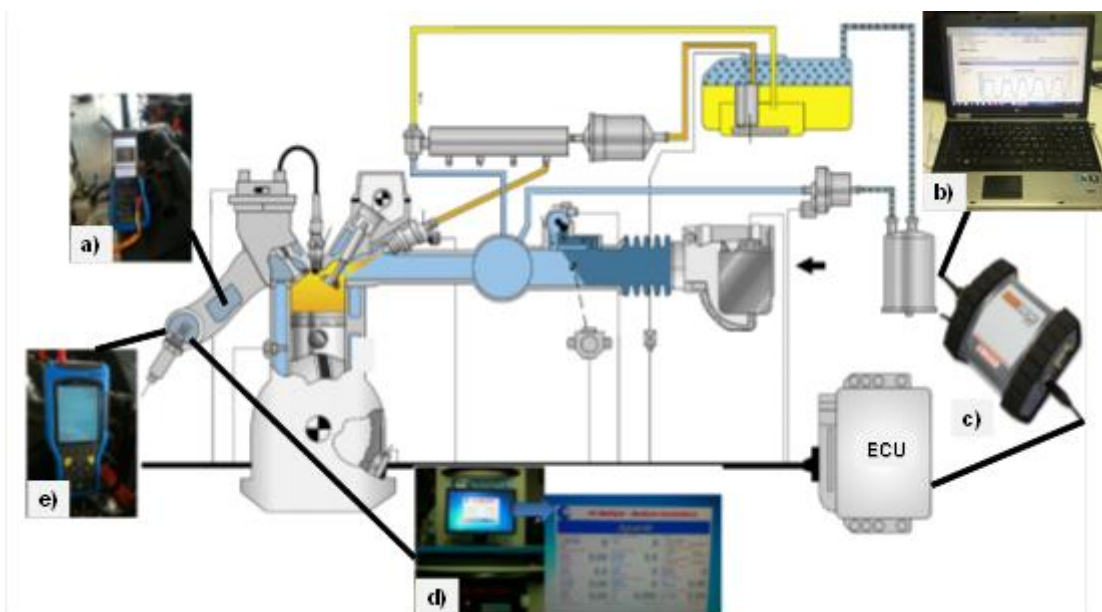


Figura 3.19 – Esquema de montagem dos equipamentos para o ensaio. [36], [57]

**Legenda do esquema:**

- a) Multímetro automotivo;
- b) Computador e software específico para coleta dos sinais do motor;
- c) Rasther TM536 – Interface UCM e notebook;
- d) Analisador de gases de exaustão;
- e) Osciloscópio automotivo.

As etapas de execução dos ensaios dos sensores foram as seguintes:

**1ª etapa** - Instalação do primeiro sensor a ser ensaiado no motor, aplicando o torque recomendado pelo fabricante de 40 Nm;

**2ª etapa** - Realização da ligação elétrica do sensor;

**3ª etapa** - Conexão do scanner na tomada de diagnóstico do sistema de gerenciamento eletrônico do motor e ao computador portátil;

**4ª etapa** - Instalação do equipamento medição dos gases de exaustão;

**5ª etapa** - Instalação da sonda para coleta de temperatura;

**6ª etapa** - Funcionar o motor até a temperatura de operação com o combustível Etanol;

**7ª etapa** - Ajustar a rotação do motor em 1000 rpm, através de dispositivo de bloqueio do pedal do acelerador na posição desejada.



**8ª etapa** - Disparar a leitura e coleta dos dados por 5 minutos;

**9ª etapa** - Realizar a leitura das emissões do motor de ensaio;

**10ª etapa** - Medir a temperatura dos gases de exaustão.

Concluída a 10ª etapa, comutou-se o combustível para GNV e reiniciaram-se os ensaios a partir da 6ª etapa.

Na sequência, a rotação do motor foi ajustada para 3.000 rpm, e realizou-se todas as fases descritas anteriormente para esta nova rotação.

Este procedimento foi repetido para todos os sensores ensaiados neste trabalho.

O fluxograma 3.20 abaixo ilustra a sequência dos ensaios realizados para a coleta dos dados.

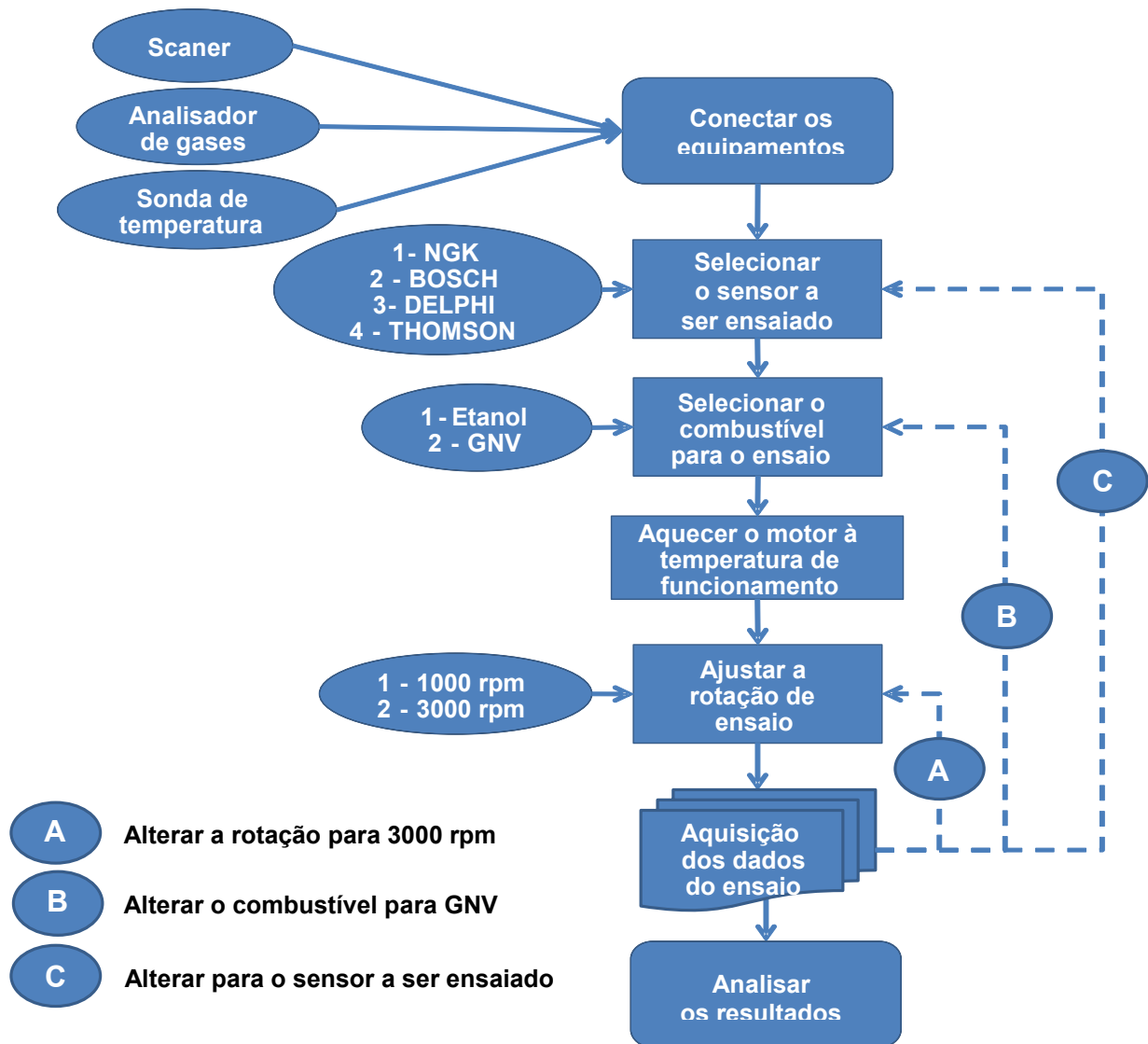


Figura 3.20 – Fluxograma das etapas dos ensaios

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados de sinal elétrico e tempo médio de resposta obtidos nos ensaios dos 4 sensores, estão dispostos na Tabela 4.1. O sinal de cada sensor para cada variável analisada possuem aproximadamente 350 pontos de leitura, sendo a transição de chaveamento entre um ponto e outro de cada leitura denominado como tempo de resposta. O apêndice “C” contém os dados coletados nos ensaios e que permitiram elaborar os gráficos do sinal do sensor em análise. Os apêndices “A e B” apresentam a forma de onda gerada pelo sinal de resposta do sensor quando analisado pelo osciloscópio.

**Tabela 4.1 – Registros de ensaios I.**

Combustível	Sensor	Rotação (rpm)	Tempo médio	Tensão (mV)		
				mínima	máxima	média
Etanol	NTK	1.000	0,698	78,00	869,00	391,41
		3.000	0,701	53,00	908,00	501,95
	BOSCH	1.000	0,705	73,00	884,00	416,91
		3.000	0,689	24,00	874,00	473,79
	DELPHI	1.000	0,661	0,00	796,00	337,33
		3.000	0,655	0,00	888,00	481,87
	THOMSON	1.000	0,645	9,00	869,00	410,22
		3.000	0,643	0,00	898,00	460,17
GNV	NTK	1.000	0,671	73,00	903,00	507,61
		3.000	0,688	53,00	888,00	555,20
	BOSCH	1.000	0,676	58,00	923,00	528,59
		3.000	0,680	43,00	898,00	541,87
	DELPHI	1.000	0,655	0,00	830,00	490,51
		3.000	0,662	0,00	893,00	523,46
	THOMSON	1.000	0,649	0,00	908,00	515,45
		3.000	0,653	0,00	923,00	546,86

Analisando os resultados da Tabela 4.1 pode-se observar que os valores da tensão média para as rotações de 1000 rpm são menores do que para as rotações de 3000 rpm. Também a tensão média para o GNV mostrou-se, para todos os sensores, superior a tensão quando o Etanol foi utilizado.

A Tabela 4.2, contém os valores da temperatura medidos na região do

sensor e as emissões de gases obtidas: oxigênio (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarbonetos (HC).

**Tabela 4.2 - Registros de ensaios II.**

Combustível	Sensor	Rotação (rpm)	Temperatura dos gases (°C)	Gases na exaustão			
				% volume			ppm
				O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC
Etanol	NTK	1.000	382	0,01	0,50	14,5	40,0
		3.000	566	0,65	0,01	14,0	7,00
	BOSCH	1.000	352	0,01	0,11	14,2	22,0
		3.000	580	0,02	0,00	14,3	10,0
	DELPHI	1.000	384	1,00	0,36	14,4	41,0
		3.000	616	0,20	0,04	15,0	6,00
	THOMSON	1.000	400	0,70	0,01	14,7	8,00
		3.000	584	0,20	0,01	14,9	1,00
GNV	NTK	1.000	367	0,01	0,29	11,5	68,0
		3.000	555	0,58	0,07	11,2	0,00
	BOSCH	1.000	425	1,13	0,05	12,7	6,00
		3.000	553	0,01	0,17	11,3	7,00
	DELPHI	1.000	398	1,10	0,00	11,6	6,00
		3.000	573	0,20	0,12	12,0	6,00
	THOMSON	1.000	390	1,20	0,04	11,3	57,0
		3.000	560	0,00	0,06	12,1	0,00

Como era esperado, para rotações maiores, a temperatura medida na região do sensor, também se apresentou mais alta. Com relação a emissão dos exaustão, observa-se que o volume de HC apresenta-se maior para baixas rotações. Já o oxigênio apresenta a mesma tendência quando utilizado o GNV como combustível. Por outro lado, as porcentagens dos gases CO e CO<sub>2</sub> permaneceram praticamente estáveis, com o motor operando tanto em 1000 quanto em 3000 rpm, e alimentado por Etanol ou GNV.

#### 4.1 Sinal de resposta dos sensores

As Figuras 4.1 e 4.2 trazem os gráficos da tensão em milivolts - mV (média das leituras realizadas para cada variável de ensaio) para cada sensor com o motor operando nas duas rotações e com os dois combustíveis utilizados neste experimento.

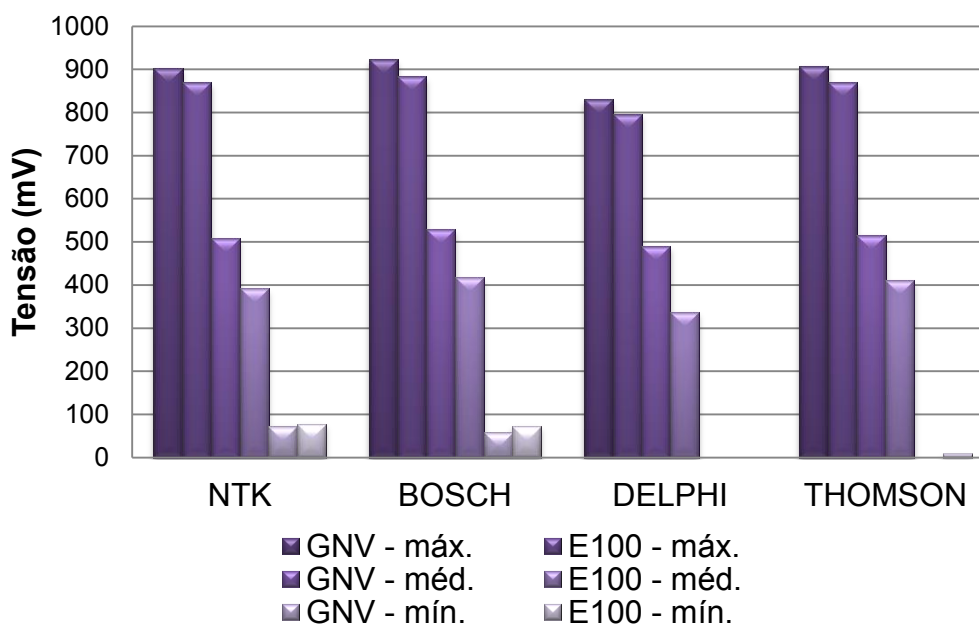


Figura 4.1 – Gráfico da resposta de tensão - 1000 rpm.

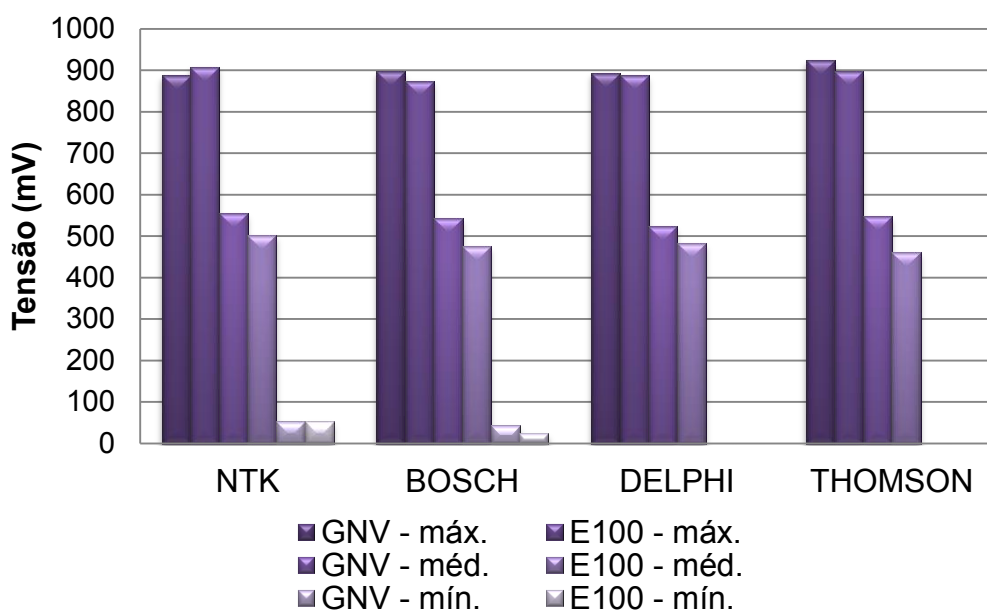


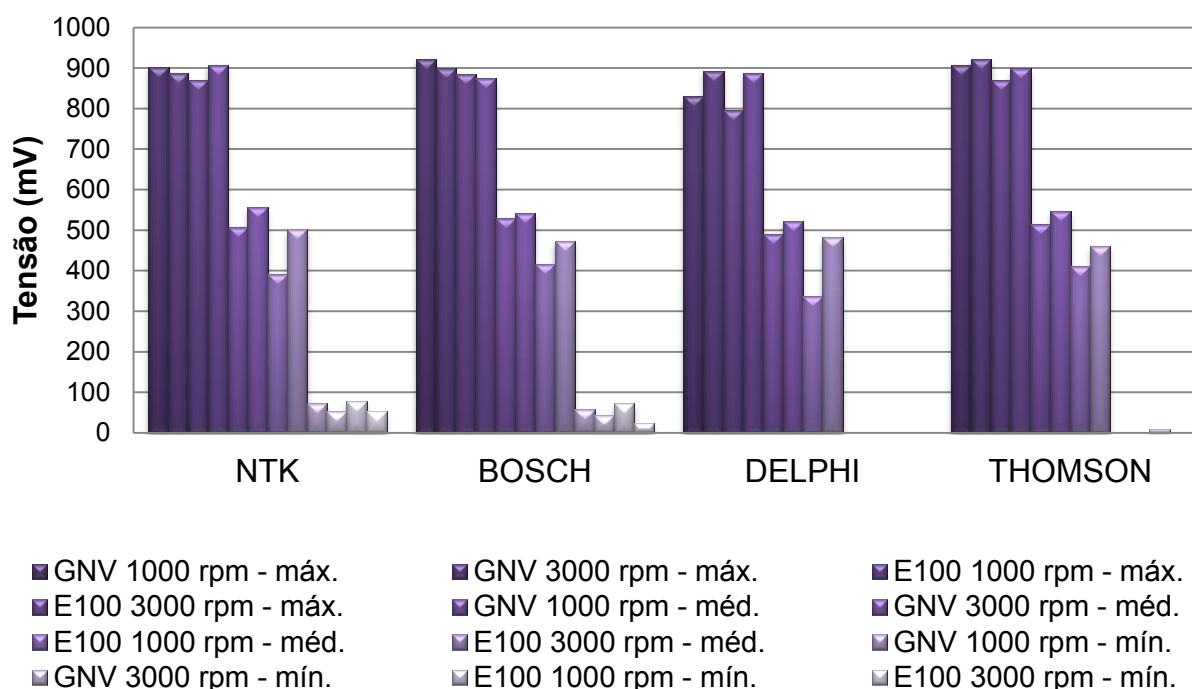
Figura 4.2 – Gráfico da resposta de tensão - 3000 rpm.

O fluxo de íons de oxigênio pelos eletrodos de platina gera uma tensão elétrica devido à diferença de concentração de oxigênio dos gases de escape e do ar ambiente. No caso da baixa diferença de pressão de oxigênio, existirá um baixo fluxo de íons pelos eletrodos a tensão elétrica será próxima de 0V (mistura pobre) e a ECU entenderá que deve enriquecer a mistura, aumentando o tempo de injeção do combustível. Para uma maior diferença de pressão de oxigênio, ocorre um aumento do fluxo de íons pelos eletrodos então a tensão elétrica será próxima de 1V (mistura rica)

e a ECU entenderá que deve empobrecer a mistura, diminuindo o tempo de injeção do combustível e assim sucessivamente, alternando a tensão elétrica entre 0V e 1V.

Observa-se também a maior tensão média gerada pelos 4 sensores, quando se utilizou o combustível GNV. O mesmo se pode afirmar com relação a rotação, onde 3000 rpm apresentou maior tensão média quando comparado com 1000 rpm.

A Figura 4.3 apresenta as tensões medidas pelos 4 sensores, para as duas rotações e os dois combustíveis.



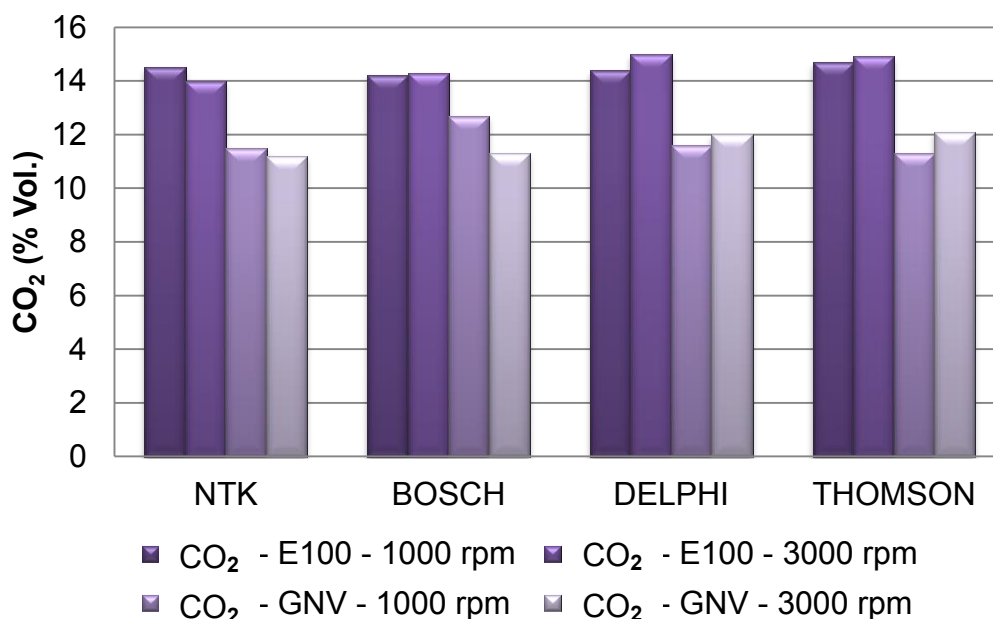
**Figura 4.3 – Gráfico da resposta de tensão - 1000 x 3000 rpm.**

Este gráfico mostra que a tensão média de resposta dos sensores para o GNV se apresentou superior ao Etanol. Mesmo quando o motor foi operado com Etanol na rotação de 3000 rpm, a tensão média nos sensores se mostraram menores do que quando o motor foi operado com GNV na rotação de 1000 rpm.

## 4.2 Emissões de gases

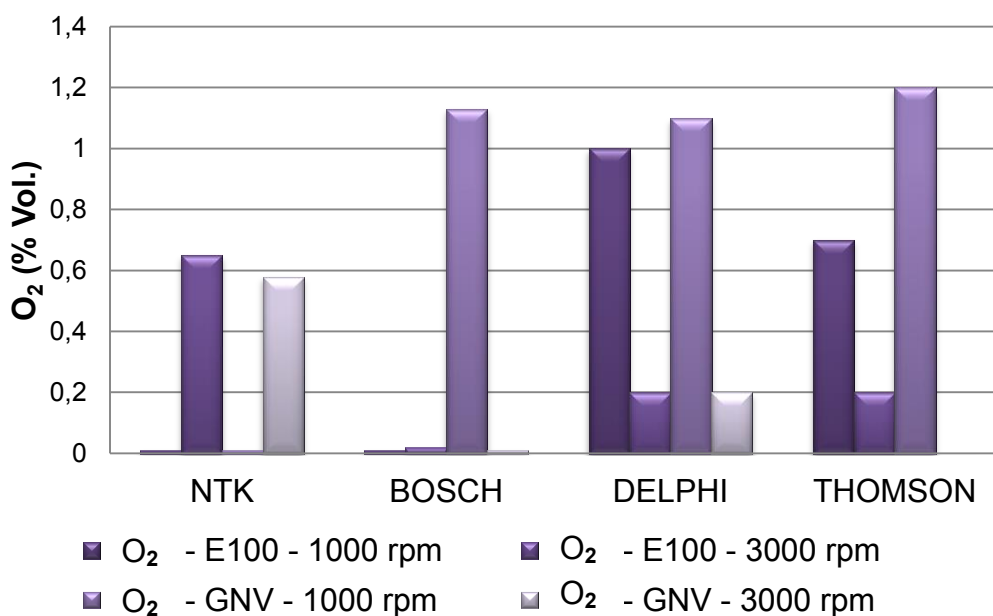
Na Figura 4.4, pode-se notar que a porcentagem média de CO<sub>2</sub> no Etanol 14,50% é maior quando comparada ao GNV 11,71%. O maior percentual apresentado pelo etanol em relação ao GNV deve-se ao fato de que os combustíveis com maior número de átomos de hidrogênio com relação aos de carbono, produzem mais H<sub>2</sub>O e

menos CO<sub>2</sub> (Etanol - C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH = 6H:2C e GNV - CH<sub>4</sub> = 4H:1C).



**Figura 4.4 – Gráfico da emissão de CO<sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm.**

A Figura 4.5 apresenta os valores obtidos para as leituras do O<sub>2</sub> presente nos gases de exaustão. A maior concentração de O<sub>2</sub> nos gases é um indicador de funcionamento com mistura pobre. Para a rotação de 1.000 rpm observa-se um volume maior de O<sub>2</sub>.



**Figura 4.5 – Gráfico da emissão de O<sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm.**

A Figura 4.6 apresenta os valores obtidos para as leituras do CO presente nos gases de exaustão. A maior concentração deste gás é um indicador de funcionamento com mistura rica.

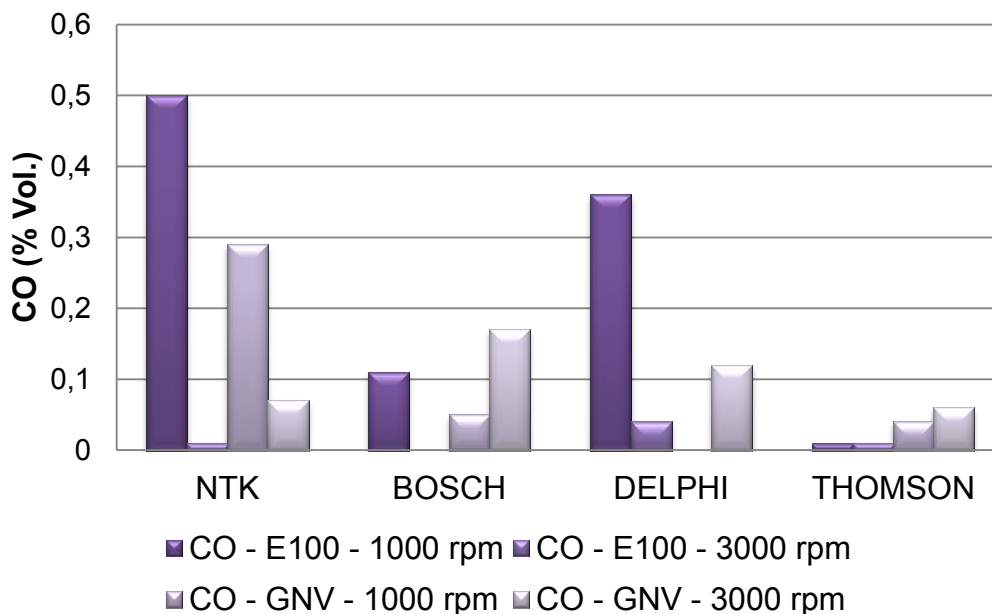


Figura 4.6 – Gráfico da emissão de CO na exaustão - 1000 x 3000 rpm.

Como descrito nas figuras anteriores, na Figura 4.7 pode-se analisar as leituras para ambos os gases. Quanto o CO aumenta o O<sub>2</sub> diminui e vice versa. Quando a mistura tende a estequiométrica as concentrações são aproximadamente iguais.

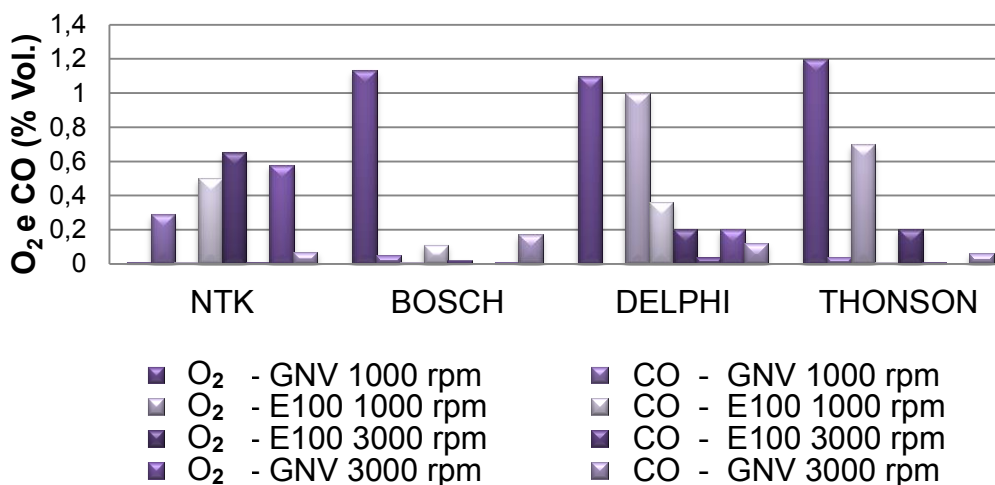
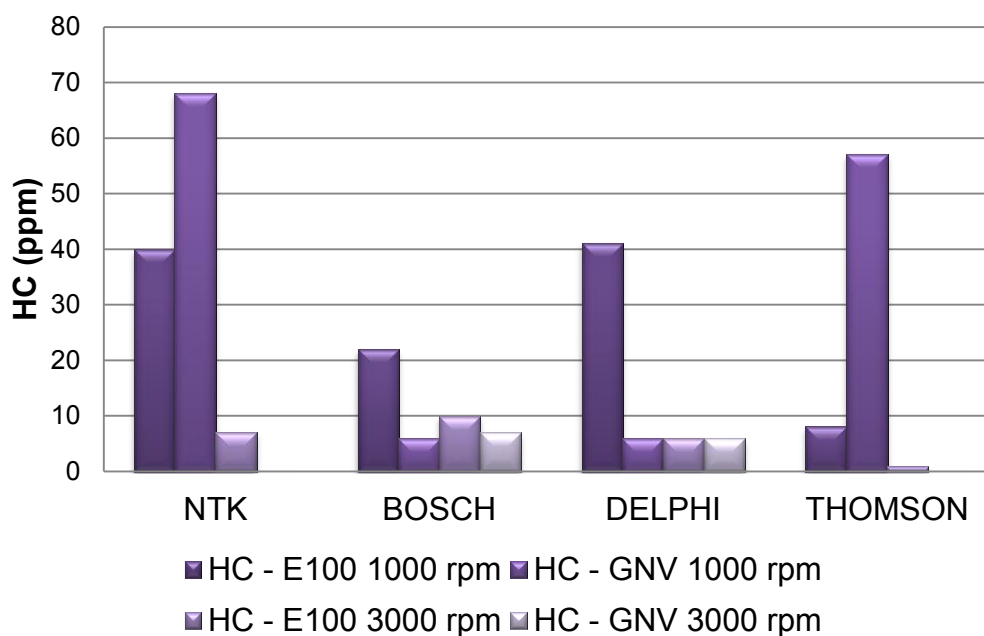


Figura 4.7 – Gráfico comparativo CO e O<sub>2</sub> na exaustão - 1000 x 3000 rpm.



A Figura 4.8 apresenta os valores medidos de HC de todos os ensaios realizados. Observa-se que o volume a 1.000 rpm é superior aos valores medidos em 3.000 rpm.



**Figura 4.8 – Gráfico da emissão de HC na exaustão 1000 x 3000 rpm.**

#### 4.2.1 Análise dos de gases de exaustão

A Tabela 4.3 apresenta os valores de  $CO_{\text{corrigido}}$ ,  $HC_{\text{corrigido}}$ , Fator de diluição e o valor Lambda para os ensaios realizados. A metodologia para cálculo, bem como os valores especificados constam da Resolução CONAMA nº418, que foram apresentados anteriormente no tópico Limites de emissão.

Os valores obtidos nos ensaios encontram-se dentro dos limites especificados pela respectiva resolução.

Analisando-se especificamente os valores de Lambda obtidos, constata-se que os mesmos estão situados na faixa ideal para o melhor desempenho do conversor catalítico, ou seja, na janela entre 0,97 e 1,03.

Em princípio, o fator de diluição é um valor que reflete de certa forma, a diluição dos gases de escape pela existência de vazamento no sistema de exaustão. Para os ensaios realizados, o valor médio do fator de diluição obtido foi de 1,03, indicando assim, que o sistema de exaustão existente no motor de ensaio atende os requisitos preconizados.

Tabela 4.3 – Análise de emissões e Valor Lambda.

Combustível	Sensor	Rotação (rpm)	CO <sub>corrigido</sub> %	HC <sub>corrigido</sub> %	Fator de diluição	Lambda λ	
Etanol	NTK	1.000	0,50	40,00	1,00	0,988	
		3.000	0,01	7,49	1,07	1,032	
	BOSCH	1.000	0,12	23,06	1,05	0,997	
		3.000	0,00	10,49	1,05	1,001	
	DELPHI	1.000	0,37	41,67	1,02	1,038	
		3.000	0,04	5,98	1,00	1,008	
	THOMSON	1.000	0,01	8,16	1,02	1,033	
		3.000	0,01	1,01	1,01	1,009	
	<b>ESPECIFICADO *</b>			<b>0,50</b>	<b>100,00</b>	<b>&lt; 2,5</b>	<b>1,000</b>
	GNV	NTK	1.000	0,30	69,21	1,02	0,989
3.000			0,07	0,00	1,06	1,034	
BOSCH		1.000	0,05	5,65	1,00	1,061	
		3.000	0,18	7,32	1,05	0,995	
DELPHI		1.000	0,00	6,21	1,03	1,066	
		3.000	0,12	5,94	1,00	1,008	
THOMSON		1.000	0,04	60,32	1,06	1,071	
		3.000	0,06	0,00	1,00	0,998	
<b>ESPECIFICADO *</b>			<b>1,00</b>	<b>100,00</b>	<b>&lt; 2,5</b>	<b>1,000</b>	

\* Limites de emissão - Resolução CONAMA N°418, de 25 de novembro de 2009 - Anexo I.

A Tabela 4.4 apresenta os valores medidos do O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e HC, para as condições ensaiadas, bem como os valores de referência para cada um dos gases.

Valores de referência são valores típicos ou normais (medidos na exaustão) de um veículo com motor e catalisador aquecidos (temperatura de operação) funcionando corretamente na marcha lenta [46].

<b>HC &lt; 100 ppm</b>	<b>CO &lt; 0,5%</b>	<b>O<sub>2</sub> entre 0,3 e 0,8%</b>	<b>CO<sub>2</sub> &gt; 13% - 14%</b>
------------------------	---------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

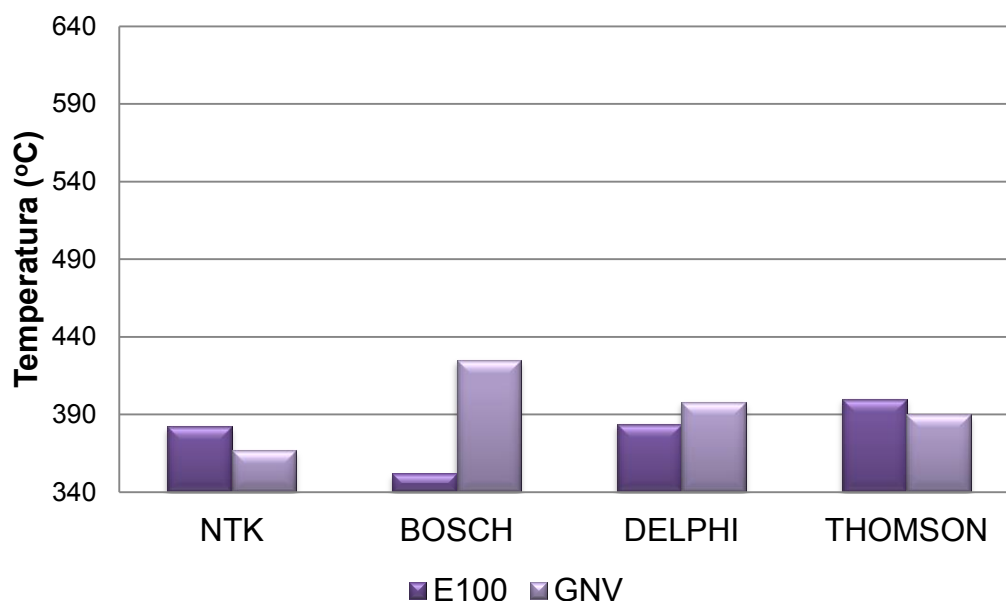
Constata-se que os valores apresentados enquadram-se nos valores de referência, indicando o perfeito funcionamento dos subsistemas do motor de ensaio, incluído o sistema de gerenciamento eletrônico e os respectivos sensores de oxigênio analisados durante a realização dos ensaios.

Tabela 4.4 – Leitura dos gases e valores de referência.

Combustível	Sensor	Rotação (rpm)	Gases na exaustão				
			% Vol.			PPM HC	
			O <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>		
Etanol	NTK	1.000	0,01	0,50	14,50	40,00	
		3.000	0,65	0,01	14,00	7,00	
	BOSCH	1.000	0,01	0,11	14,20	22,00	
		3.000	0,02	0,00	14,30	10,00	
	DELPHI	1.000	1,00	0,36	14,40	41,00	
		3.000	0,20	0,04	15,00	6,00	
	THOMSON	1.000	0,70	0,01	14,70	8,00	
		3.000	0,20	0,01	14,90	1,00	
	<b>VALOR DE REFERÊNCIA *</b>			<b>&lt; 0,80</b>	<b>&lt; 0,50</b>	<b>14 - 15</b>	<b>&lt; 100</b>
	GNV	NTK	1.000	0,01	0,29	11,50	68,00
3.000			0,58	0,07	11,20	0,00	
BOSCH		1.000	1,13	0,05	12,70	6,00	
		3.000	0,01	0,17	11,30	7,00	
DELPHI		1.000	1,10	0,00	11,60	6,00	
		3.000	0,20	0,12	12,00	6,00	
THOMSON		1.000	1,20	0,04	11,30	57,00	
		3.000	0,00	0,06	12,10	0,00	
<b>VALOR DE REFERÊNCIA *</b>			<b>&lt; 0,80</b>	<b>&lt; 0,50</b>	<b>11 - 12</b>	<b>&lt; 100</b>	

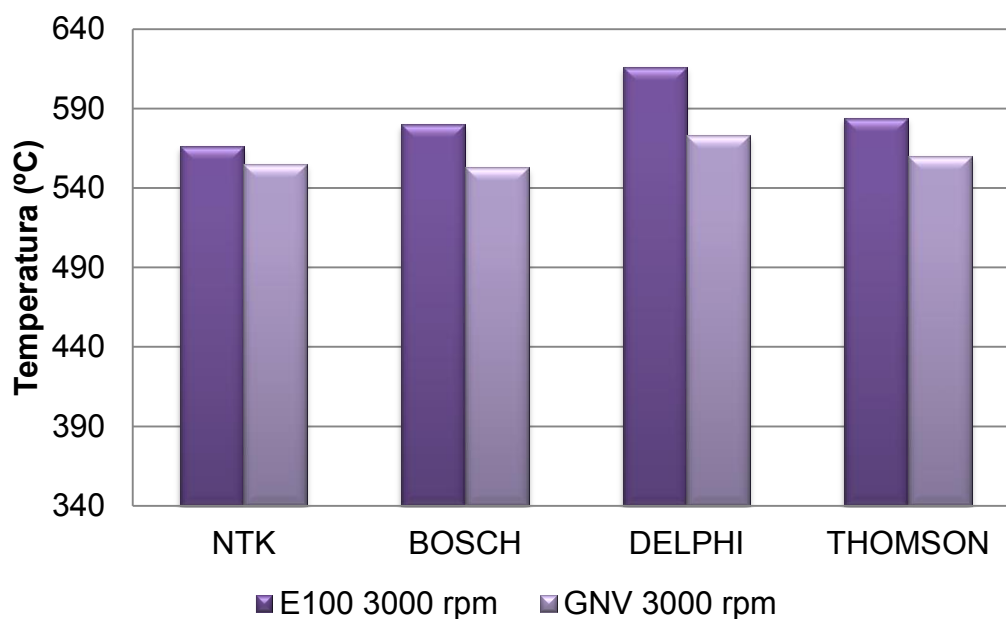
### 4.3 Temperatura dos gases de exaustão

Operando com o combustível GNV, na rotação de 1000 rpm observou-se um acréscimo de 3,92% (380 °C - E100 x 396 °C - GNV) na média da temperatura dos gases. Porém para os sensores 2 e 3 (GNV) as temperaturas foram superiores em 11,82% comparativamente ao E100 (368 °C - E100 x 412 °C - GNV), Figura 4.9.



**Figura 4.9 – Gráfico da temperatura dos gases na exaustão - 1000 rpm.**

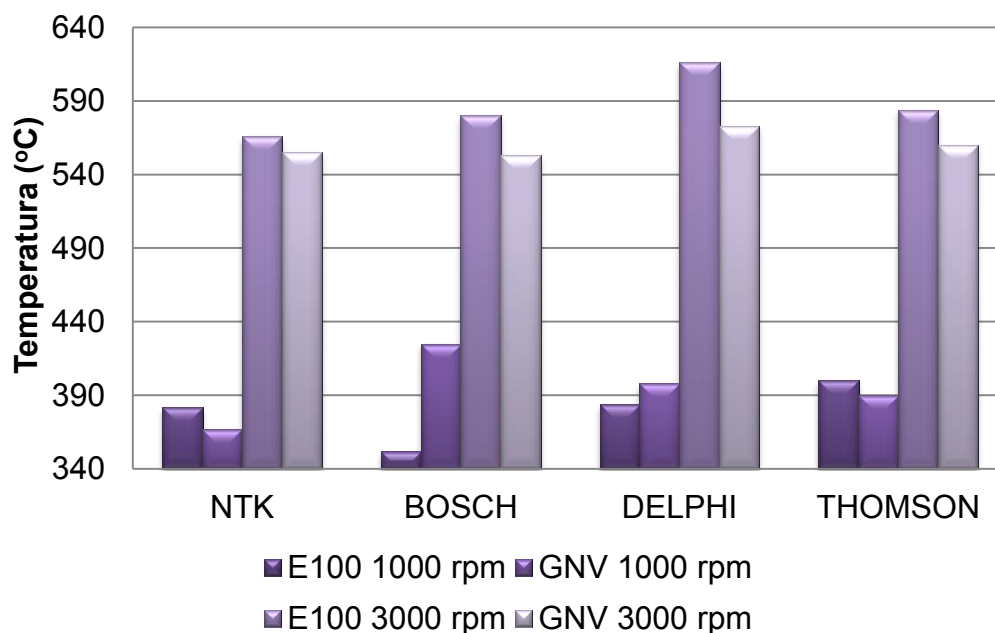
Para a rotação de 3000 rpm uma variação superior na temperatura média de 4,48% para o E100 (587 °C - E100 x 560 °C - GNV), Figura 4.10.



**Figura 4.10 – Gráfico da temperatura dos gases na exaustão - 3000 rpm.**

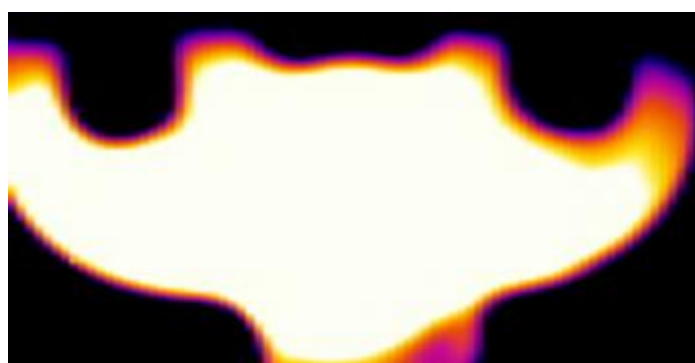
Comparando-se a média de temperaturas nas duas rotações de ensaio, verifica-se que as temperaturas foram majoradas em 54,55% para o E100 (380 °C x 587 °C) e 41,84 % para o GNV (395 °C x 560 °C). Este aumento é justificado devido ao

maior fluxo de gases de exaustão na condição de 3.000 rpm, Figura 4.11.



**Figura 4.11 – Gráfico temperatura dos gases de exaustão - 1000 x 3000 rpm.**

A Figura 4.12 traz a imagem termográfica do coletor de escape com o motor funcionando com GNV a 3000 rpm. Ou seja, a condição de maior temperatura medida próximo ao sensor de oxigênio (573 °C).



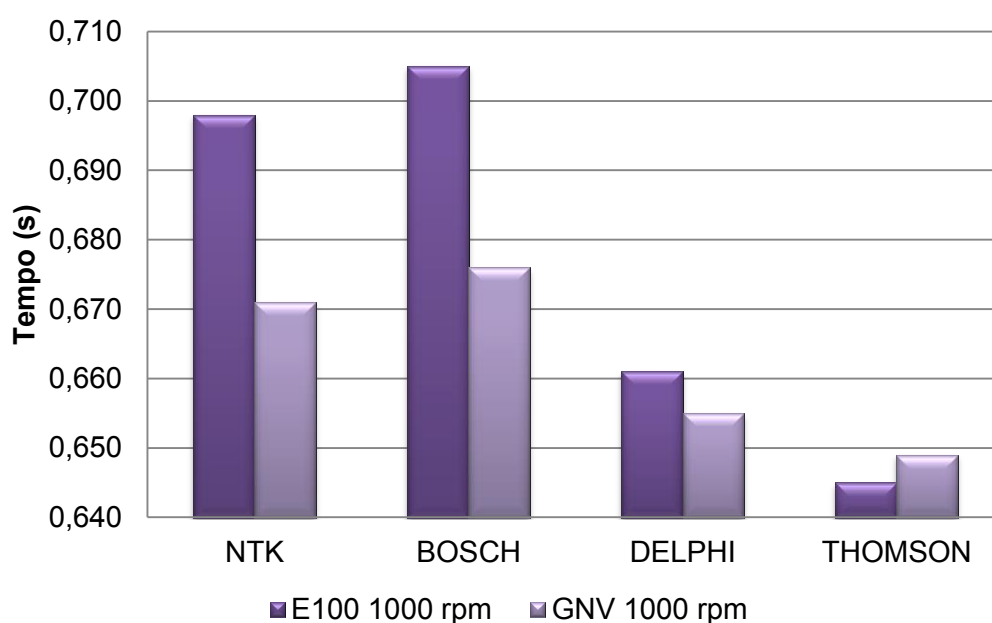
**Figura 4.12 – Imagem termográfica do coletor de escape.**

#### 4.4 Tempo de resposta dos sensores

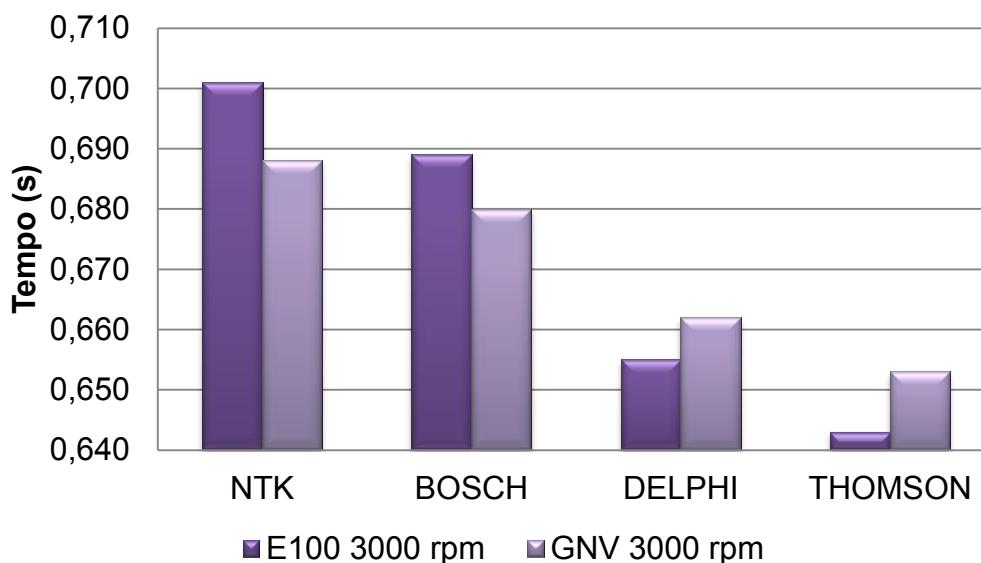
As Figuras 4.13 e 4.14 trazem os gráficos do tempo de resposta (transição de chaveamento) em milissegundo - ms, ou seja, o tempo médio entre uma leitura de sinal e outra subsequente (média das leituras realizadas para cada variável de ensaio)

para cada sensor, com o motor operando nas duas rotações e com os dois combustíveis utilizados neste experimento.

Em ambas as condições de rotação de ensaio, observa-se que os sensores DELPHI e THOMSON têm desempenho superior com relação aos sensores NTK e BOSCH. Comparando o sensor BOSCH com o sensor THOMSON, nota-se uma variação de 9,3% no tempo de resposta, ou seja, em um mesmo período de operação, a UCM receberá um número maior de leituras com conseqüente melhora no controle da mistura.



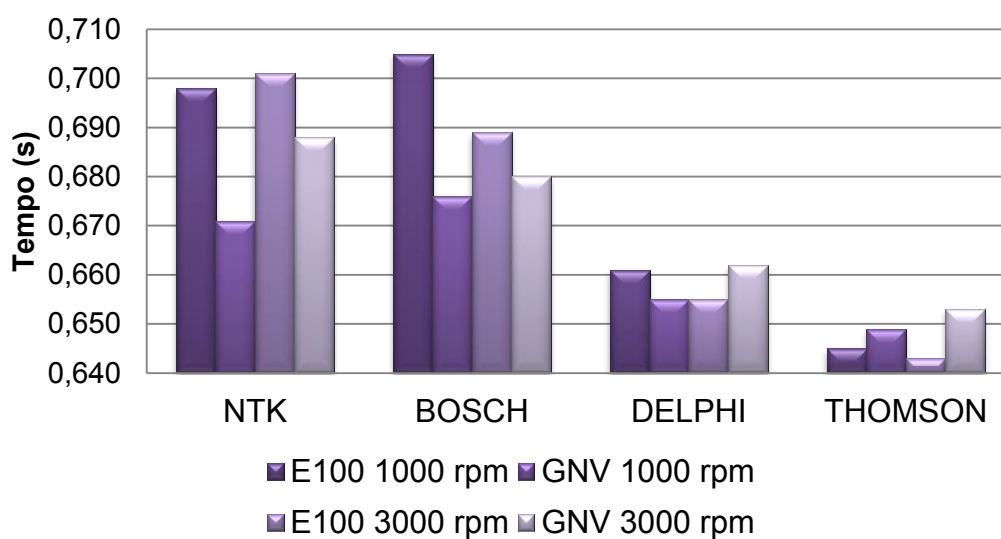
**Figura 4.13 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 1000 rpm.**



**Figura 4.14 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 3000 rpm.**

Comparando-se o tempo médio de resposta dos sensores em todas as condições ensaiadas, constata-se que o sensor THOMSON apresentou o melhor desempenho com 0,648 ms, o sensor DELPHI com 0,658 ms, o BOSCH com 0,688 ms e o NTK com 0,690 ms, Figura 4.15.

O tempo médio das respostas dos ensaios utilizando-se o GNV como combustível, em ambas as rotações foi de 0,670 ms contra 0,672 ms apresentado pelo Etanol.



**Figura 4.15 – Gráfico tempo de resposta do sensor - 1000 x 3000 rpm.**

Conforme a norma ABNT NBR 14754:2001[10], para análise do

desempenho do sensor, deve-se com o motor funcionando na temperatura normal de trabalho, medir o tempo de resposta (transição de chaveamento) do sensor de oxigênio. Comparar este valor com o especificado pelo fabricante. A FIAT Automóveis especifica que a resposta do sensor deve ser de 3 a 4 ciclos (tensão de resposta variando entre 0 a 1 Volt) em 5 segundos [60].

Nos ensaios realizados, os sensores DELPHI e THOMSON apresentaram um tempo de resposta médio de 3,9 segundos em 3 ciclos e os sensores NTK e BOSCH com 4,1 segundo para as mesmas condições.



## 5 CONCLUSÕES

A estratégia de pesquisa aplicada a análise do desempenho de sensores originalmente desenvolvidos para operar com gasolina pura se comportam com combustíveis de uso alternativo, com composição química e fases distintas em um motor de ensaio operacional, montado especialmente de forma autônoma ao veículo para operar com combustíveis distintos, mostrou-se válida para os objetivos propostos para o trabalho, permitindo constatar que os mesmos desempenham seu papel de forma adequada e sem falhas.

Quando utilizado o Etanol como combustível, as tensões médias nas duas rotações foram menores que as observadas utilizando-se o GNV, 434,21 mV contra 526,19 mV respectivamente, indicando que quando operando com GNV a mistura tende a ser ligeiramente rica, ou seja, uma tensão gerada superior a 450mV, indicando que as análises dos sinais elétricos dos sensores em todas as condições de ensaios estão de acordo com o levantamento teórico realizado.

Analisando o tempo de resposta (transição de chaveamento), constata-se que os mesmos atendem a norma vigente, bem como, o preconizado pelo fabricante do motor.

A temperatura na região do sensor foi superior para o Etanol 483 °C contra 478 °C do GNV. Quando operando na rotação de 3000 rpm, as temperaturas de operação são maiores, em função do volume maior de gases gerados na combustão e a defasagem na dissipação do calor com o ar atmosférico, na região de instalação do sensor.

Analisando as emissões geradas, constata-se que as mesmas estão de acordo com o preconizado na legislação vigente, indicando que o sistema de gerenciamento eletrônico do motor e consequentemente o sensor de oxigênio, cumprem de forma adequada suas funções.

O teor de oxigênio para o GNV 0,53% foi superior ao do Etanol 0,35%. O maior teor de O<sub>2</sub> nos gases de exaustão, aliado a maior tensão do sinal do sensor, indica a operação da mistura na condição pobre, ou seja, fator Lambda superior a 1,05. Para efeito de controle de emissões o motor enquadra-se nos valores da legislação (0,3 a 0,8% de O<sub>2</sub>).

Os valores de emissão de CO, estão dentro da margem preconizada, ou seja, menor que 0,5%.

O Etanol apresentou um teor médio de CO<sub>2</sub> de 14,54%, superior ao apresentado pelo GNV que foi de 11,66%, valores obtidos em função da composição química dos combustíveis.

Os valores de HC gerados estão muito próximos, sendo 4,63 ppm para o Etanol e de 4,35 ppm para o GNV, estando compreendido na faixa preconizada (HC <100 ppm).

Os valores de Lambda calculados em função das emissões geradas apresentam-se coerentes com os levantamentos teóricos realizados, ou seja, Lambda  $\lambda - 1,000$ . Com exceção do GNV a 1000 rpm com 1,05, os demais valores são iguais a 1,01.

Os sinais coletados dos sensores representam de forma real a operação do sistema de gerenciamento eletrônico de um motor de combustão interna. Com a principal variável mantida inalterada, o motor de ensaio, pode-se garantir que as leituras realizadas, não sofreram interferências externas, demonstrando que os sinais originais de sensor para sensor variam de forma própria, devido às características construtivas, material do elemento sensor, entre outros.

A utilização de combustíveis de fases diferentes (líquida e gasosa) evidencia que os sinais dos sensores, bem como, o desempenho do motor são influenciados de forma específica pelos mesmos.

## 6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a linha de pesquisa desenvolvida neste trabalho, sugere-se que as condições de ensaio poderiam ser eventualmente modificadas em trabalhos futuros, para maior compreensão dos fenômenos físicos envolvidos, através da variação de:

- Composição do material sensor;
- Estudo e construção de sensores com variação do material;
- Aperfeiçoamento das análises através de outras formas de ensaio como, por exemplo, o ensaio dos sensores com o motor em condição de carga em dinamômetro;
- Desenvolver sensores de menores dimensões para aplicação individual em cada cilindro do motor.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2003.
- [2] J. B. HEYWOOD, *Intenal combustion engine fundamentals*. New York: McGrawHill, 1988.
- [3] IBAMA, *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*, 3<sup>a</sup> edição. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2011.
- [4] BRASIL, *Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores - INOVAR-AUTO*. - BRASIL, 2012.
- [5] D. R. R. LAZAR, "Avaliação da influência de elementos de terras raras pesadas na microestrutura e nas propriedades mecânicas e elétricas de cerâmicas de zircônia - ítria," Universidade de São Paulo, 2002.
- [6] S. L. MINEIRO, "Processamento e caracterização física e mecânica de cerâmicas de zircônia-ítria total e parcialmente nanoestruturadas," INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- [7] T. COSTLOW, "Bullish predictions for sensor usage," *Automotive Engineering Magazine*, 2011.
- [8] NGK, "Lambda Sensor 20," *Lambda Sensor 20 QUESTIONS & ANSWERS*, 2011. [Online]. Available: <http://ngkntk.co.uk/wp-content/uploads/2011/03/Lambda-Sensor-20-QAs.pdf>. [Accessed: 04-Jan-2012].
- [9] ABNT, "NBR ISO 8178-1 - Motores alternativos de combustão interna - Medição da emissão de gases de exaustão - Parte 1 - Medição das emissões de gases e material particulado em banco de ensaio," 2012.
- [10] ABNT, "NBR 14754 - Veículos rodoviários automotores - Sensor de oxigênio - Ensaio de manutenção," Rio de Janeiro, 2001.
- [11] J. Warnatz, U. Maas, and R. W. Dibble, *Combustion*, 4<sup>a</sup> ed. 2006.
- [12] X. LU, D. HAN, and Z. HUANG, "Fuel design and management for the control of advanced compression-ignition combustion modes," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 37, no. 6, pp. 741–783, Dec. 2011.
- [13] F. El-Mahallawy and S. E.-D. Habik, *Fundamentals and technology of combustion*. 2002.
- [14] I.-D. KIM, A. ROTHSCHEID, and H. L. TULLER, "Advances and new directions in gas-sensing devices," *Acta Mater.*, vol. 61, no. 3, pp. 974–1000, Feb. 2013.
- [15] E. C. SUBBARAO, "Advanced ceramics - an overview," *Sadhana*, vol. 13, no. July, pp. 1–11, 1988.
- [16] E. CAPRONI, D. GOUVÊA, and R. MUCCILLO, "Yttria-stabilized zirconia closed end tubes prepared by electrophoretic deposition," *Ceram. Int.*, vol. 37, no. 1, pp. 273–277, Jan. 2011.
- [17] S. ZHUIYKOV, *Electrochemistry of Zirconia Gas Sensors*, 1<sup>a</sup> ed. 2008.
- [18] S. N. ETSSELL, T.H. FLENNERS, "The electrical properties of solid oxide electrolytes.," *Chem Rev.* 70, pp. 339–376, 1970.
- [19] J. ZHUIYKOV, S. and NOWOTNY, "Zirconia-based sensors for environmental gases: A review," *Mater. Forum* 24, vol. Materials, no. 24, pp. 150–168, 2000.

- [20] J. RIEGEL, H. NEUMANN, and H. WIEDENMANN, "Exhaust gas sensors for automotive emission control," *Solid State Ionics*, vol. 153, pp. 783–800, 2002.
- [21] R. MOOS, N. IZU, F. RETTING, S. REISS, W. SHIN, and I. MATSUBARA, "Resistive oxygen gas sensors for harsh environments.," *Sensors (Basel)*, vol. 11, no. 4, pp. 3439–3465, Jan. 2011.
- [22] T. DENTON, *Advanced automotive fault diagnosis*, Second edi. 2006.
- [23] H. DUEKER, K. FRIESE, and W. HAECKER, "Ceramic Aspects of the Bosch Lambda-Sensor," *SAE Tech. Pap.*, no. 750223, 1975.
- [24] S.-Y. LIU and I.-W. CHEN, "Fatigue of Ytria-Stabilized Zirconia: I, Fatigue Damage, Fracture Origins, and lifetime Prediction," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 6, no. 74, pp. 1197–1205, 1991.
- [25] S.-Y. LIU and I.-W. CHEN, "Fatigue of Ytria-Stabilized Zirconia: II, Crack Propagation, Fatigue Striations, and Short-Crack Behavior," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 6, no. 74, pp. 1206–1216, 1991.
- [26] H. TSUBAKINO, M. HAMAMOTO, and R. NOZATO, "Tetragonal-Monoclinic Phase Transformation During Thermal Cycling Isothermal Ageing in Ytria-Partially Stabilized Zirconia," *J. Mater. Sci.*, vol. 26, no. 20, p. pp 5521–5526, 1991.
- [27] F. C. FONSECA, "RELAÇÃO MICROESTRUTURA-PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS À BASE DE ZIRCÔNIA," Universidade de São Paulo - USP, 2001.
- [28] C. A. HARPER, *HANDBOOK OF CERAMICS, GLASSES, AND DIAMONDS*. Lutherville, 2011.
- [29] C. R. FOSCHINI, O. T. FILHO, and S. A. JUIZ, "On the stabilizing behavior of zirconia: A combined experimental and theoretical study," *J. Mater. Sci.*, vol. 9, no. 39, pp. 1935–1941, 2004.
- [30] B. VANIMAN, "Performance Characterization of Solid Oxide Electrochemical Cells," The University of Arizona, 1995.
- [31] Z.-A. LUO, J.-Z. XIAO, and F. XIA, "Preparation and analysis of zirconia oxygen sensors," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 16, no. s82–s87, pp. 2–7, 2006.
- [32] K. R. SRIDHAR and J. A. BLANCHARD, "Electronic conduction in low oxygen partial pressure measurements using an amperometric zirconia oxygen sensor," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 59, no. 1, pp. 60–67, Oct. 1999.
- [33] E. C. SUBBARAO, "A second ceramic age - A new materials frontier," *1990 Disting. Mater. Sci. Lect.*, vol. 14, no. 5, pp. 1171–1182, 1991.
- [34] C. YOUNG and J. BODE, "Characteristics of ZrO<sub>2</sub>-Type Oxygen Sensors for Automotive Applications," *SAE Tech. Pap.*, no. 790143, 1979.
- [35] A. LUND, T. JACOBSEN, K. V. HANSEN, and M. MOGENSEN, "Limitations of potentiometric oxygen sensors operating at low oxygen levels," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 160, no. 1, pp. 1159–1167, Dec. 2011.
- [36] C. R. CRUZ, "Fotos autor." 2014.
- [37] R. Bosch, *Manual de Tecnologia Automotiva*, 25<sup>a</sup> ed. 2004.
- [38] T. DENTON, *Automobile Electrical and Electronic Systems*, Third edit. 2004.
- [39] C. F. TAYLOR, *ANÁLISE DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA - vol. 2*, Primeira. 1988.
- [40] R. Bosch, "Emission Control for gasoline-engines management," Stuttgart, 1999.
- [41] VOLKSWAGEN, "Sistema de Gerenciamento de Motores Aspirados." 2009.

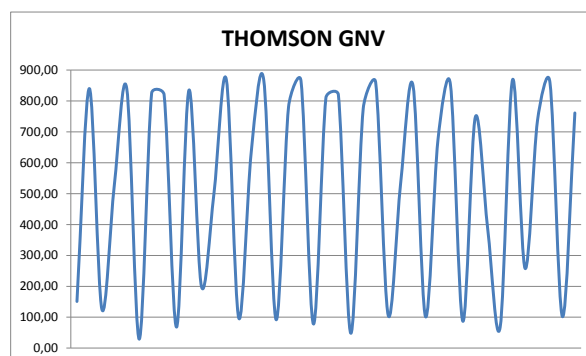
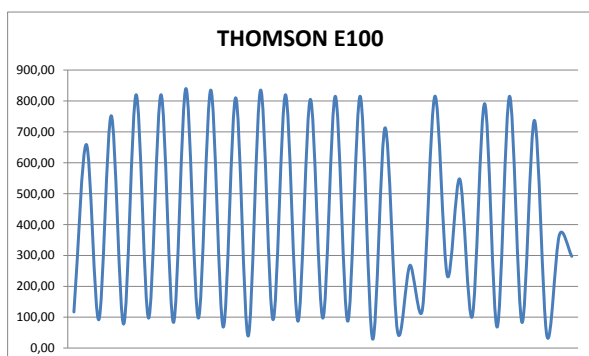
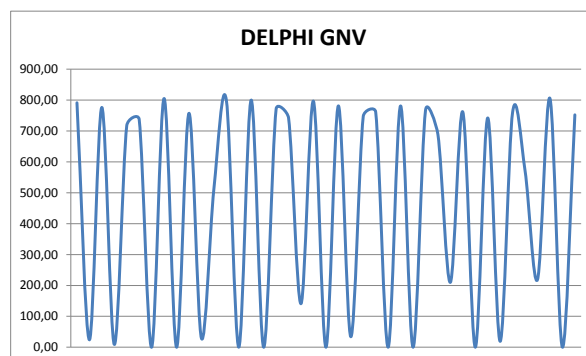
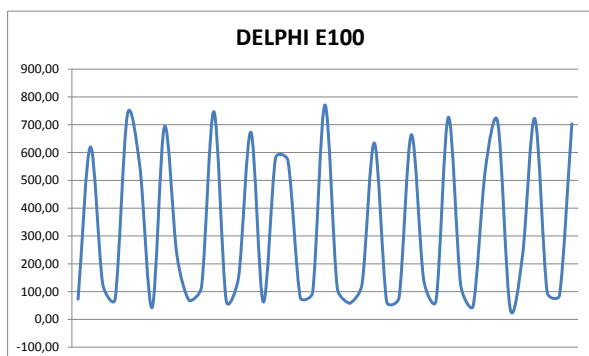
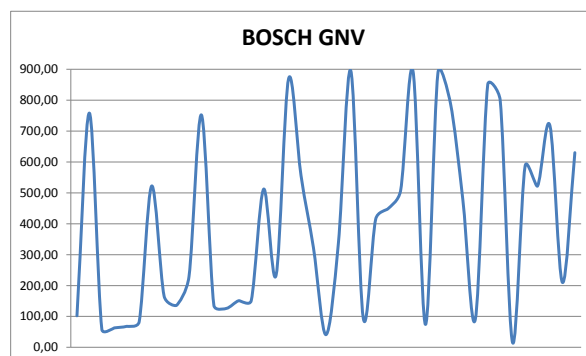
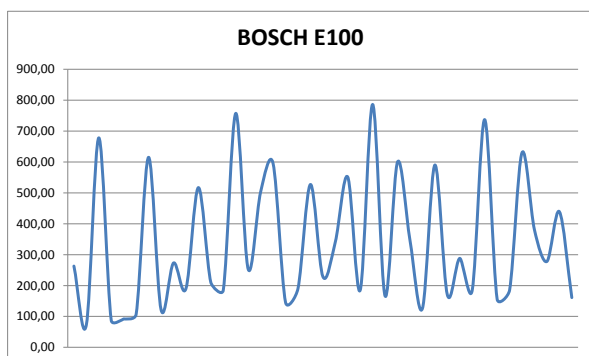
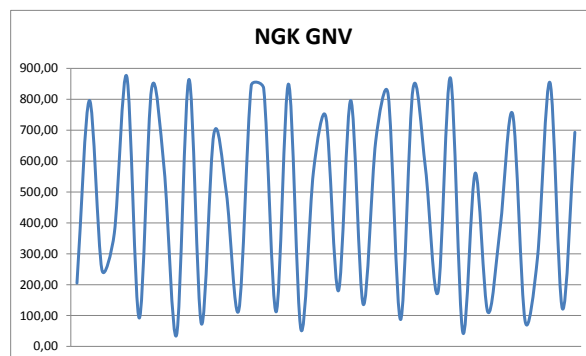
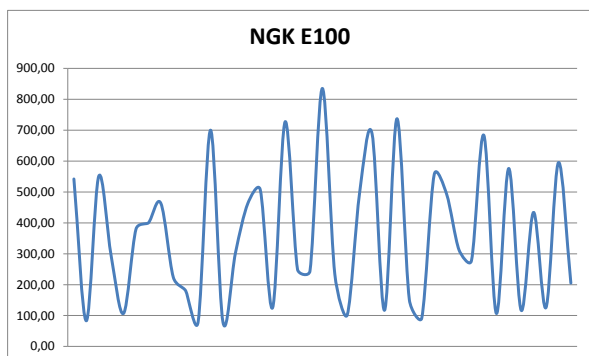
- [42] VOLKSWAGEN, “Códigos de avarias OBD II e Lâmpada MIL,” *Notícias da oficina*. [Online]. Available: <http://www.noticiasdaoficinavw.com.br/v2/2013/08/capitulo-2-codigos-de-avarias-obd-ii-e-lampada-mil/>. [Accessed: 20-May-2013].
- [43] MTE-THOMSON, “TEST THOMSON.” 2007.
- [44] H. J. Manavella, *Eleto-Eletrônica Automotiva*. 2006.
- [45] T. K. GARRETT, K. NEWTON, and W. STEEDS, *The Motor Vehicle*, 13<sup>a</sup> ed. 2001.
- [46] H. J. MANAVELLA, *Emissões Automotivas - Sistema de Controle - Diagnóstico*. São Paulo, 2011.
- [47] ABNT, “NBR ISO 8178-5 - Motores alternativos de combustão interna - Medição da emissão de gases de exaustão - Parte 5 - Combustíveis de ensaio,” 2012.
- [48] J. A. Carvalho Junior and P. T. Lacava, *Emissões em processos de combustão*. 2003.
- [49] M. TONGROON and H. ZHAO, “Combustion and emission characteristics of alcohol fuels in a CAI engine,” *Fuel*, vol. 104, pp. 386–397, Feb. 2013.
- [50] N. DOCQUIER and S. CANDEL, “Combustion control and sensors: a review,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. 107–150, Jan. 2002.
- [51] G. M. Branco and A. Szwarc, “CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO PROGRAMA DE INSPEÇÃO VEICULAR,” in , *SIMEA*, 2008, pp. 1–20.
- [52] BRASIL, *Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA - RESOLUÇÃO 418/09*. , Brasília, DF, 2009, p. 11.
- [53] J. S. ORTIZ, “Analisador de Gases para Veículos de Gasolina,” UNIVERSITAT ROVIERA I VIRGILI, 2010.
- [54] ABNT, “ABNT NBR 6601-2012 - Veículos rodoviários automotores leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento.” p. 54, 2012.
- [55] P. ZAL, “Engine Horsepower and Torque Curve - Alcool,” *Automobile-catalog*, 2014. [Online]. Available: [http://www.automobile-catalog.com/curve/2012/735260/fiat\\_siena\\_elx\\_1\\_4\\_tetrafuel\\_alcool.html](http://www.automobile-catalog.com/curve/2012/735260/fiat_siena_elx_1_4_tetrafuel_alcool.html). [Accessed: 11-Dec-2014].
- [56] P. ZAL, “Engine Horsepower and Torque Curve - GNC,” *Automobile-catalog*, 2014. [Online]. Available: [http://www.automobile-catalog.com/curve/2012/735275/fiat\\_siena\\_elx\\_1\\_4\\_tetrafuel\\_cng.html](http://www.automobile-catalog.com/curve/2012/735275/fiat_siena_elx_1_4_tetrafuel_cng.html). [Accessed: 11-Dec-2014].
- [57] R. Bosch, “Sistemas de Injeção Eletrônica.” , Campinas, p. 23, 1994.
- [58] M. MARELLI, “TETRAFUEL,” *MAGNETTI MARELLI*, 2014. [Online]. Available: <http://www.magnetimarelli.com/excellence/technological-excellences/multifuel-technologies>. [Accessed: 15-Sep-2014].
- [59] A. S. FIAT, “DADOS TÉCNICOS DO MOTOR TETRAFUEL,” *INFOTEC FIAT*, 2010. [Online]. Available: [http://www.infotecfiat.com.br/Por/Anexos/especificacoes/10/linha\\_palio/et\\_motor\\_const\\_performanca\\_tetra.html](http://www.infotecfiat.com.br/Por/Anexos/especificacoes/10/linha_palio/et_motor_const_performanca_tetra.html). [Accessed: 20-Apr-2013].

- 
- [60] A. S. FIAT, "ENTENDENDO OS SINAIS DA SONDA LAMBDA," *CICLO DE PALESTRAS FIAT*, 2011. [Online]. Available: <https://www.reparadorfiat.com.br/pagina/669/detalhe.aspx?Curso=6>. [Accessed: 25-Nov-2014].

## 8 APÊNDICE

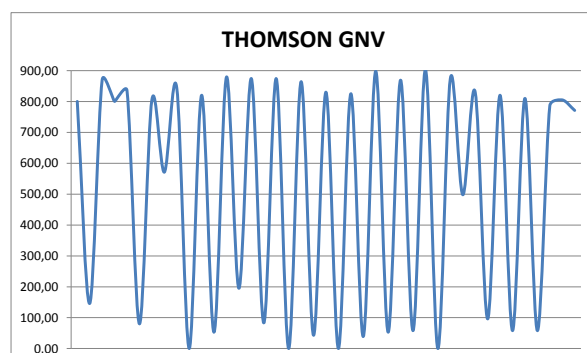
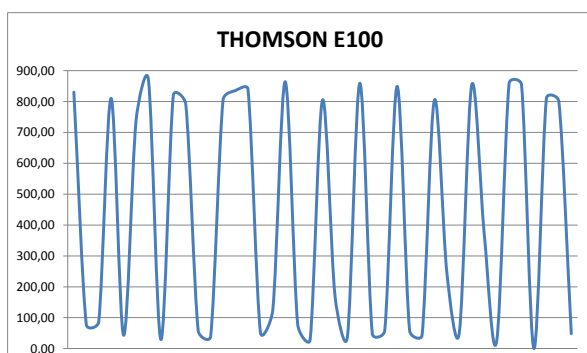
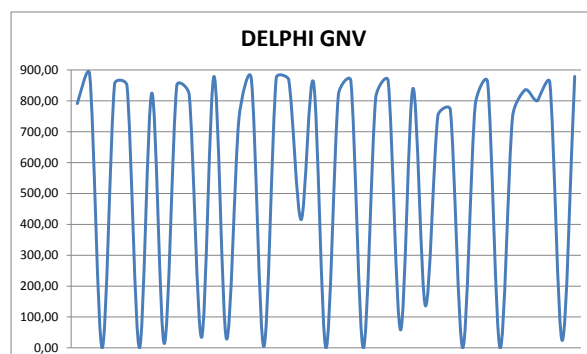
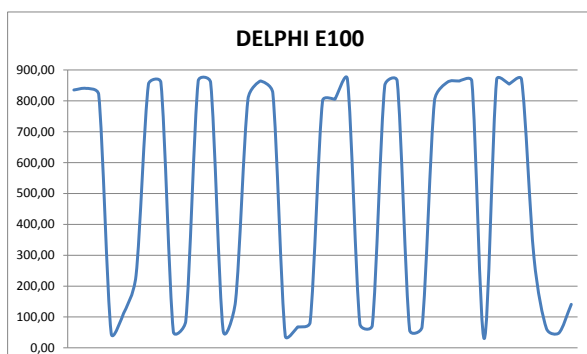
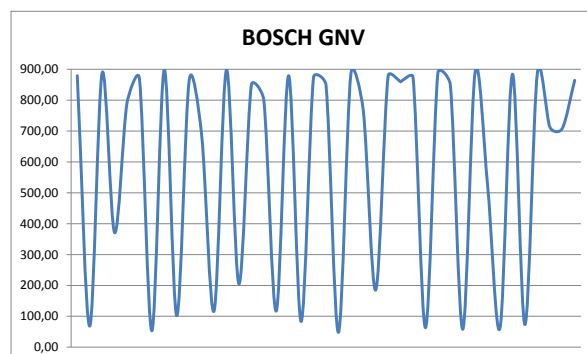
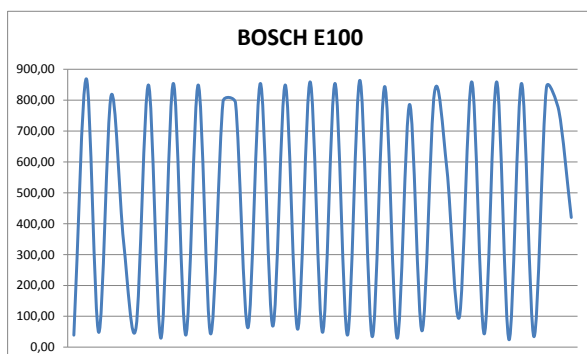
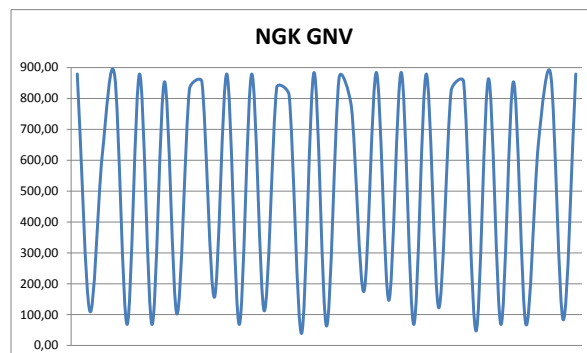
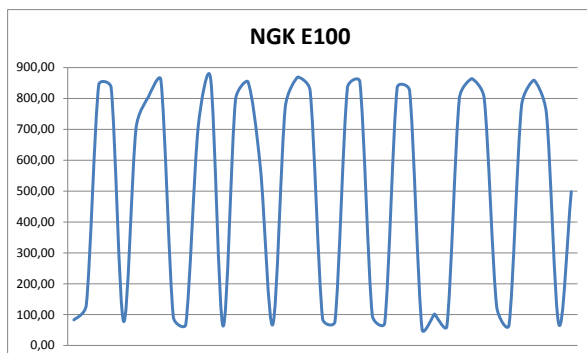
### APÊNDICE A – Sinal elétrico (mV) dos sensores.

Rotação de 1000 rpm





**Rotação de 3000 rpm**



## APÊNDICE B – Dados coletados nos ensaios dos sensores

E100 - 1000 rpm											
NGK			BOSCH			DELPHI			THOMSON		
Tensão	Mínimo	78,00	Tensão	Mínimo	73,00	Tensão	Mínimo	0,00	Tensão	Mínimo	9,00
	Máximo	869,00		Máximo	884,00		Máximo	796,00		Máximo	869,00
	Média	391,41		Média	416,91		Média	337,33		Média	410,22
Tempo de resposta		0,698	Tempo de resposta		0,705	Tempo de resposta		0,661	Tempo de resposta		0,645
Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão
0,000	0,624	766,00	0,000	0,686	776,00	0,000	0,686	83,00	0,000	0,577	68,00
0,624	0,624	97,00	0,686	0,718	131,00	0,686	0,655	175,00	0,577	0,734	776,00
1,248	0,640	625,00	1,404	0,639	170,00	1,341	0,671	415,00	1,311	0,655	73,00
1,888	0,639	112,00	2,043	0,671	361,00	2,012	0,686	429,00	1,966	0,624	786,00
2,527	0,702	849,00	2,714	0,671	195,00	2,698	0,640	78,00	2,590	0,608	63,00
3,229	0,687	273,00	3,385	0,702	771,00	3,338	0,655	385,00	3,198	0,843	766,00
3,916	0,702	136,00	4,087	0,717	190,00	3,993	0,687	673,00	4,041	0,608	92,00
4,618	1,029	551,00	4,804	0,780	810,00	4,680	0,655	346,00	4,649	0,608	805,00
5,647	0,671	405,00	5,584	0,671	195,00	5,335	0,671	312,00	5,257	0,656	83,00
6,318	0,671	630,00	6,255	0,702	449,00	6,006	0,702	63,00	5,913	0,655	805,00
6,989	0,671	107,00	6,957	0,687	688,00	6,708	0,639	102,00	6,568	0,593	43,00
7,660	0,670	649,00	7,644	0,733	234,00	7,347	0,655	693,00	7,161	0,639	869,00
8,330	0,671	151,00	8,377	0,686	170,00	8,002	0,687	761,00	7,800	0,655	53,00
9,001	0,640	796,00	9,063	0,671	293,00	8,689	0,655	151,00	8,455	0,578	820,00
9,641	0,780	278,00	9,734	0,671	537,00	9,344	0,671	58,00	9,033	0,624	68,00
10,421	0,671	126,00	10,405	0,671	576,00	10,015	0,593	678,00	9,657	0,624	796,00
11,092	0,608	830,00	11,076	0,702	361,00	10,608	0,639	483,00	10,281	0,655	73,00
11,700	0,640	380,00	11,778	0,686	293,00	11,247	0,687	253,00	10,936	0,593	253,00
12,340	0,655	107,00	12,464	0,640	219,00	11,934	0,655	517,00	11,529	0,655	463,00
12,995	0,639	595,00	13,104	0,702	166,00	12,589	0,717	73,00	12,184	0,655	78,00
13,634	0,640	380,00	13,806	0,733	512,00	13,306	0,687	87,00	12,839	0,640	791,00
14,274	0,640	869,00	14,539	0,624	644,00	13,993	0,593	415,00	13,479	0,639	78,00
14,914	1,372	107,00	15,163	0,671	190,00	14,586	0,670	649,00	14,118	0,624	796,00
16,286	0,749	444,00	15,834	0,733	205,00	15,256	0,687	117,00	14,742	0,624	87,00
17,035	0,671	112,00	16,567	0,733	146,00	15,943	0,671	415,00	15,366	0,624	766,00
17,706	0,640	630,00	17,300	0,640	820,00	16,614	0,686	161,00	15,990	0,671	73,00
18,346	0,639	92,00	17,940	0,717	371,00	17,300	0,655	732,00	16,661	0,593	566,00
18,985	0,671	649,00	18,657	0,671	224,00	17,955	0,890	302,00	17,254	0,655	92,00
19,656	0,780	87,00	19,328	0,702	190,00	18,845	0,686	669,00	17,909	0,655	507,00
20,436	0,749	576,00	20,030	0,811	727,00	19,531	0,671	83,00	18,564	0,593	673,00
21,185	0,608	302,00	20,841	0,718	224,00	20,202	0,655	83,00	19,157	0,655	34,00
21,793	0,671	200,00	21,559	0,639	600,00	20,857	0,640	214,00	19,812	0,671	737,00
22,464	0,655	478,00	22,198	0,702	146,00	21,497	0,670	776,00	20,483	0,655	92,00
23,119	0,655	92,00	22,900	0,687	727,00	22,167	0,671	307,00	21,138	0,624	800,00
23,774	0,687	698,00	23,587	0,702	151,00	22,838	0,655	43,00	21,762	0,624	63,00
24,461	0,764	297,00	24,289	0,702	786,00	23,493	0,656	97,00	22,386	0,671	727,00
25,225	0,671	590,00	24,991	0,718	454,00	24,149	0,655	214,00	23,057	0,593	83,00
25,896	0,843	273,00	25,709	0,670	229,00	24,804	0,702	664,00	23,650	0,624	757,00
26,739	0,639	400,00	26,379	0,702	390,00	25,506	0,624	170,00	24,274	0,624	73,00
27,378	0,624	156,00	27,081	0,702	405,00	26,130	0,639	112,00	24,898	0,639	156,00
28,002	0,640	615,00	27,783	0,687	288,00	26,769	0,702	107,00	25,537	0,671	459,00
28,642	0,608	170,00	28,470	0,671	727,00	27,471	0,671	595,00	26,208	0,671	463,00
29,250	0,811	527,00	29,141	0,702	336,00	28,142	0,655	385,00	26,879	0,640	87,00
30,061	0,671	185,00	29,843	0,748	830,00	28,797	0,656	87,00	27,519	0,624	556,00
30,732	0,671	732,00	30,591	0,734	200,00	29,453	0,686	83,00	28,143	0,639	151,00
31,403	0,686	473,00	31,325	0,608	214,00	30,139	0,671	649,00	28,782	0,624	283,00
32,089	0,656	107,00	31,933	0,655	205,00	30,810	0,671	527,00	29,406	0,687	112,00
32,745	0,686	600,00	32,588	0,609	429,00	31,481	0,639	600,00	30,093	0,858	781,00
33,431	0,702	78,00	33,197	0,826	283,00	32,120	0,577	605,00	30,951	0,764	87,00
34,133	0,749	708,00	34,023	0,656	136,00	32,697	0,702	53,00	31,715	0,671	185,00
34,882	0,717	92,00	34,679	0,686	288,00	33,399	0,656	615,00	32,386	0,811	644,00
35,599	0,640	234,00	35,365	0,640	175,00	34,055	0,670	615,00	33,197	0,702	68,00
36,239	0,655	449,00	36,005	0,670	200,00	34,725	0,656	283,00	33,899	0,640	835,00
36,894	0,640	727,00	36,675	0,702	341,00	35,381	0,670	214,00	34,539	0,639	83,00
37,534	0,686	434,00	37,377	0,671	444,00	36,051	0,687	507,00	35,178	0,609	820,00
38,220	0,624	126,00	38,048	0,671	483,00	36,738	0,671	205,00	35,787	0,608	83,00
38,844	0,671	644,00	38,719	0,796	205,00	37,409	0,733	136,00	36,395	0,624	805,00
39,515	0,749	327,00	39,515	0,702	517,00	38,142	0,795	73,00	37,019	0,624	83,00
40,264	0,639	507,00	40,217	0,748	459,00	38,937	0,640	102,00	37,643	0,780	825,00
40,903	0,671	649,00	40,965	0,671	884,00	39,577	0,686	761,00	38,423	0,765	83,00
41,574	1,030	141,00	41,636	0,671	884,00	40,263	0,656	210,00	39,188	0,717	415,00

42,604	0,671	234,00	42,307	0,702	879,00	40,919	0,655	97,00	39,905	0,655	556,00
43,275	0,686	610,00	43,009	0,671	869,00	41,574	0,702	415,00	40,560	0,593	107,00
43,961	0,655	400,00	43,680	0,749	864,00	42,276	0,655	634,00	41,153	0,609	122,00
44,616	0,858	405,00	44,429	0,702	864,00	42,931	0,655	43,00	41,762	0,624	805,00
45,474	0,640	136,00	45,131	0,686	840,00	43,586	0,702	78,00	42,386	0,670	87,00
46,114	0,780	439,00	45,817	0,733	332,00	44,288	0,671	92,00	43,056	0,687	737,00
46,894	0,671	459,00	46,550	0,718	874,00	44,959	0,686	371,00	43,743	0,624	78,00
47,565	0,670	420,00	47,268	0,671	869,00	45,645	0,671	351,00	44,367	0,624	757,00
48,235	0,671	586,00	47,939	0,702	849,00	46,316	0,640	112,00	44,991	0,624	87,00
48,906	0,671	278,00	48,641	0,748	820,00	46,956	0,639	678,00	45,615	0,624	815,00
49,577	0,780	727,00	49,389	0,640	336,00	47,595	0,687	341,00	46,239	0,624	78,00
50,357	0,640	737,00	50,029	0,764	107,00	48,282	0,858	87,00	46,863	0,671	820,00
50,997	0,639	200,00	50,793	0,671	810,00	49,140	0,671	175,00	47,534	0,608	29,00
51,636	0,609	420,00	51,464	0,577	253,00	49,811	0,655	78,00	48,142	0,624	830,00
52,245	0,639	312,00	52,041	0,702	97,00	50,466	0,608	380,00	48,766	0,671	87,00
52,884	0,624	473,00	52,743	0,671	800,00	51,074	0,640	693,00	49,437	0,655	820,00
53,508	0,687	673,00	53,414	0,780	634,00	51,714	0,702	717,00	50,092	0,624	68,00
54,195	0,733	102,00	54,194	0,687	97,00	52,416	0,562	239,00	50,716	0,624	761,00
54,928	0,749	747,00	54,881	0,748	796,00	52,978	0,702	249,00	51,340	0,608	126,00
55,677	0,842	224,00	55,629	0,703	507,00	53,680	0,592	415,00	51,948	0,624	107,00
56,519	0,577	229,00	56,332	0,670	97,00	54,272	0,609	752,00	52,572	0,624	649,00
57,096	0,671	722,00	57,002	0,640	727,00	54,881	0,671	166,00	53,196	0,640	58,00
57,767	0,640	327,00	57,642	0,671	737,00	55,552	0,655	63,00	53,836	0,608	805,00
58,407	0,639	273,00	58,313	0,671	97,00	56,207	0,639	263,00	54,444	0,640	87,00
59,046	0,702	312,00	58,984	0,670	771,00	56,846	0,640	527,00	55,084	0,624	820,00
59,748	0,812	581,00	59,654	0,718	561,00	57,486	0,640	107,00	55,708	0,655	73,00
60,560	0,639	263,00	60,372	0,640	97,00	58,126	0,624	625,00	56,363	0,609	835,00
61,199	0,640	752,00	61,012	0,702	722,00	58,750	0,655	166,00	56,972	0,655	92,00
61,839	0,639	122,00	61,714	0,670	659,00	59,405	0,639	117,00	57,627	0,655	800,00
62,478	0,640	200,00	62,384	0,687	395,00	60,044	0,656	214,00	58,282	0,671	83,00
63,118	0,640	195,00	63,071	0,733	781,00	60,700	0,686	649,00	58,953	0,686	815,00
63,758	0,670	673,00	63,804	0,718	107,00	61,386	0,640	713,00	59,639	0,656	92,00
64,428	0,780	166,00	64,522	0,748	742,00	62,026	0,639	87,00	60,295	0,655	761,00
65,208	0,640	576,00	65,270	0,656	439,00	62,665	0,655	190,00	60,950	0,749	83,00
65,848	0,702	576,00	65,926	0,639	97,00	63,320	0,624	761,00	61,699	0,624	796,00
66,550	0,671	268,00	66,565	0,687	722,00	63,944	0,656	97,00	62,323	0,655	97,00
67,221	0,671	219,00	67,252	0,670	781,00	64,600	0,655	141,00	62,978	1,061	463,00
67,892	0,670	371,00	67,922	0,640	107,00	65,255	0,639	410,00	64,039	0,608	805,00
68,562	0,702	112,00	68,562	0,624	439,00	65,894	0,656	366,00	64,647	0,640	83,00
69,264	0,796	605,00	69,186	0,655	781,00	66,550	0,686	639,00	65,287	0,670	737,00
70,060	0,764	107,00	69,841	0,967	112,00	67,236	0,640	78,00	65,957	0,640	24,00
70,824	0,640	253,00	70,808	0,687	757,00	67,876	0,655	742,00	66,597	0,624	815,00
71,464	0,671	800,00	71,495	0,717	283,00	68,531	0,639	87,00	67,221	0,608	78,00
72,135	0,639	112,00	72,212	0,702	102,00	69,170	0,609	180,00	67,829	0,765	835,00
72,774	0,640	669,00	72,914	0,702	810,00	69,779	0,655	400,00	68,594	0,639	92,00
73,414	0,702	273,00	73,616	0,780	122,00	70,434	0,671	727,00	69,233	0,671	800,00
74,116	0,671	561,00	74,396	0,687	205,00	71,105	0,655	214,00	69,904	0,593	87,00
74,787	0,858	361,00	75,083	0,702	805,00	71,760	0,655	39,00	70,497	0,593	825,00
75,645	0,639	444,00	75,785	0,639	122,00	72,415	0,640	166,00	71,090	0,686	78,00
76,284	0,640	459,00	76,424	0,640	87,00	73,055	0,671	727,00	71,776	0,671	805,00
76,924	0,640	117,00	77,064	0,640	820,00	73,726	0,639	175,00	72,447	0,624	92,00
77,564	0,670	542,00	77,704	0,733	625,00	74,365	0,655	87,00	73,071	0,686	820,00
78,234	0,640	249,00	78,437	0,639	87,00	75,020	0,656	117,00	73,757	0,578	68,00
78,874	0,671	654,00	79,076	0,640	703,00	75,676	0,670	87,00	74,335	0,639	595,00
79,545	0,998	244,00	79,716	0,702	644,00	76,346	0,671	620,00	74,974	0,889	185,00
80,543	0,640	185,00	80,418	0,655	92,00	77,017	0,687	625,00	75,863	0,656	87,00
81,183	0,671	527,00	81,073	0,671	771,00	77,704	0,670	512,00	76,519	0,639	620,00
81,854	0,639	737,00	81,744	0,655	385,00	78,374	0,890	117,00	77,158	0,624	97,00
82,493	0,655	122,00	82,399	0,640	102,00	79,264	0,670	83,00	77,782	0,655	761,00
83,148	0,640	361,00	83,039	0,639	796,00	79,934	0,687	234,00	78,437	0,874	83,00
83,788	0,608	737,00	83,678	0,640	283,00	80,621	0,671	796,00	79,311	0,671	126,00
84,396	0,671	366,00	84,318	0,608	92,00	81,292	0,655	151,00	79,982	0,639	800,00
85,067	0,811	781,00	84,926	0,983	796,00	81,947	0,764	107,00	80,621	0,609	107,00
85,878	0,858	512,00	85,909	0,687	136,00	82,711	0,702	126,00	81,230	0,624	566,00
86,736	0,671	488,00	86,596	0,671	361,00	83,413	0,656	126,00	81,854	0,624	146,00
87,407	0,671	415,00	87,267	0,655	781,00	84,069	0,624	380,00	82,478	0,608	771,00
88,078	0,718	205,00	87,922	0,608	107,00	84,693	0,717	742,00	83,086	0,624	117,00
88,796	0,671	757,00	88,530	0,827	224,00	85,410	0,655	68,00	83,710	0,671	673,00
89,467	0,764	131,00	89,357	0,702	742,00	86,065	0,687	166,00	84,381	0,624	141,00
90,231	0,655	297,00	90,059	0,733	97,00	86,752	0,686	732,00	85,005	0,686	170,00
90,886	0,702	410,00	90,792	0,687	859,00	87,438	0,655	678,00	85,691	0,593	410,00
91,588	0,671	503,00	91,479	0,670	820,00	88,093	0,656	669,00	86,284	0,640	669,00

92,259	0,671	483,00	92,149	0,734	297,00	88,749	0,670	581,00	86,924	0,655	112,00
92,930	0,639	302,00	92,883	0,780	376,00	89,419	0,593	78,00	87,579	0,655	170,00
93,569	0,640	576,00	93,663	0,686	478,00	90,012	0,671	180,00	88,234	0,640	185,00
94,209	0,733	317,00	94,349	0,671	102,00	90,683	0,671	757,00	88,874	0,593	288,00
94,942	0,749	166,00	95,020	0,671	815,00	91,354	0,655	366,00	89,467	0,608	195,00
95,691	0,686	595,00	95,691	0,608	166,00	92,009	0,655	703,00	90,075	0,827	688,00
96,377	0,671	258,00	96,299	0,671	102,00	92,664	0,655	796,00	90,902	0,764	87,00
97,048	0,671	151,00	96,970	0,624	820,00	93,319	0,734	673,00	91,666	0,640	747,00
97,719	0,640	688,00	97,594	0,624	205,00	94,053	0,624	722,00	92,306	0,780	117,00
98,359	0,702	97,00	98,218	0,686	112,00	94,677	0,670	78,00	93,086	0,655	229,00
99,061	0,670	810,00	98,904	0,640	791,00	95,347	0,671	63,00	93,741	0,624	102,00
99,731	0,858	268,00	99,544	0,624	117,00	96,018	0,671	766,00	94,365	0,624	439,00
100,589	0,624	341,00	100,168	0,686	126,00	96,689	0,640	185,00	94,989	0,655	615,00
101,213	0,640	542,00	100,854	0,780	263,00	97,329	0,655	73,00	95,644	0,640	117,00
101,853	0,608	83,00	101,634	0,687	73,00	97,984	0,624	620,00	96,284	0,640	659,00
102,461	0,671	551,00	102,321	0,702	78,00	98,608	0,671	126,00	96,924	0,639	92,00
103,132	0,671	293,00	103,023	0,702	87,00	99,279	0,655	73,00	97,563	0,780	752,00
103,803	0,640	107,00	103,725	0,686	92,00	99,934	0,655	737,00	98,343	0,609	78,00
104,443	0,780	380,00	104,411	0,702	107,00	100,589	0,671	551,00	98,952	0,608	820,00
105,223	0,670	400,00	105,113	0,733	615,00	101,260	0,686	43,00	99,560	0,655	97,00
105,893	0,671	463,00	105,846	1,045	122,00	101,946	0,671	693,00	100,215	0,640	820,00
106,564	0,702	224,00	106,891	0,702	273,00	102,617	0,702	234,00	100,855	0,655	83,00
107,266	0,687	180,00	107,593	0,640	190,00	103,319	0,593	68,00	101,510	0,640	840,00
107,953	0,639	117,00	108,233	0,671	517,00	103,912	0,639	117,00	102,150	0,624	97,00
108,592	0,640	166,00	108,904	0,671	210,00	104,551	0,609	747,00	102,774	0,655	835,00
109,232	0,967	78,00	109,575	0,780	185,00	105,160	0,624	68,00	103,429	0,639	68,00
110,199	0,764	302,00	110,355	0,686	757,00	105,784	0,655	151,00	104,068	0,578	810,00
110,963	0,656	463,00	111,041	0,671	253,00	106,439	0,593	673,00	104,646	0,655	39,00
111,619	0,655	507,00	111,712	0,639	503,00	107,032	0,624	63,00	105,301	0,593	835,00
112,274	0,671	126,00	112,351	0,702	595,00	107,656	0,655	581,00	105,894	0,624	92,00
112,945	0,702	727,00	113,053	0,734	146,00	108,311	0,749	571,00	106,518	0,592	820,00
113,647	0,702	249,00	113,787	0,795	190,00	109,060	0,671	78,00	107,110	0,702	87,00
114,349	0,748	244,00	114,582	0,624	527,00	109,731	0,670	97,00	107,812	0,609	805,00
115,097	0,671	835,00	115,206	0,702	229,00	110,401	0,640	771,00	108,421	0,639	97,00
115,768	0,889	234,00	115,908	0,655	341,00	111,041	0,640	112,00	109,060	0,656	815,00
116,657	0,640	102,00	116,563	0,702	551,00	111,681	0,655	58,00	109,716	0,639	87,00
117,297	0,671	498,00	117,265	0,671	185,00	112,336	0,640	126,00	110,355	0,655	815,00
117,968	0,639	688,00	117,936	0,718	786,00	112,976	0,670	634,00	111,010	0,656	29,00
118,607	0,671	117,00	118,654	0,733	166,00	113,646	0,656	63,00	111,666	0,655	713,00
119,278	0,749	737,00	119,387	0,702	600,00	114,302	0,655	78,00	112,321	0,639	53,00
120,027	0,811	151,00	120,089	0,687	346,00	114,957	0,655	664,00	112,960	0,609	268,00
120,838	0,671	92,00	120,776	0,639	126,00	115,612	0,671	141,00	113,569	0,655	126,00
121,509	0,640	556,00	121,415	0,671	590,00	116,283	0,655	68,00	114,224	0,624	415,00
122,149	0,639	493,00	122,086	0,655	170,00	116,938	0,640	727,00	114,848	0,624	234,00
122,788	0,671	312,00	122,741	0,640	288,00	117,578	0,764	122,00	115,472	0,608	547,00
123,459	0,671	278,00	123,381	0,639	185,00	118,342	0,655	48,00	116,080	0,640	102,00
124,130	0,671	683,00	124,020	0,640	737,00	118,997	0,687	542,00	116,720	0,593	791,00
124,801	0,889	107,00	124,660	0,967	156,00	119,684	0,670	708,00	117,313	0,624	68,00
125,690	0,640	576,00	125,627	0,702	185,00	120,354	0,687	39,00	117,937	0,624	815,00
126,330	0,639	117,00	126,329	0,702	630,00	121,041	0,624	229,00	118,561	0,655	83,00
126,969	0,671	434,00	127,031	0,655	380,00	121,665	0,639	722,00	119,216	0,640	737,00
127,640	0,640	126,00	127,686	0,734	278,00	122,304	0,640	97,00	119,856	0,639	39,00
128,280	0,639	595,00	128,420	0,670	439,00	122,944	0,640	87,00	120,495	0,640	366,00
128,919	0,671	205,00	129,090	0,687	161,00	123,584	0,702	703,00	121,135	0,780	297,00
129,590	0,640	507,00	129,777	0,780	547,00	124,286	0,655	58,00	121,915	0,608	92,00
130,230	0,748	244,00	130,557	0,671	796,00	124,941	0,655	97,00	122,523	0,609	805,00
130,978	0,749	708,00	131,228	0,702	283,00	125,596	0,655	595,00	123,132	0,842	83,00
131,727	0,687	166,00	131,930	0,639	478,00	126,251	0,655	581,00	123,974	0,624	840,00
132,414	0,670	444,00	132,569	0,609	224,00	126,906	0,624	53,00	124,598	0,624	107,00
133,084	0,656	244,00	133,178	0,702	512,00	127,530	0,687	561,00	125,222	0,624	840,00
133,740	0,670	757,00	133,880	0,639	590,00	128,217	0,608	351,00	125,846	0,640	87,00
134,410	0,640	146,00	134,519	0,671	175,00	128,825	0,671	58,00	126,486	0,655	810,00
135,050	0,671	595,00	135,190	0,702	673,00	129,496	0,655	727,00	127,141	0,624	97,00
135,721	0,671	161,00	135,892	0,640	141,00	130,151	0,687	161,00	127,765	0,624	830,00
136,392	0,639	468,00	136,532	0,717	571,00	130,838	0,686	63,00	128,389	0,624	43,00
137,031	0,640	351,00	137,249	0,952	190,00	131,524	0,655	200,00	129,013	0,608	810,00
137,671	0,639	478,00	138,201	0,639	444,00	132,179	0,702	698,00	129,621	0,609	97,00
138,310	0,624	429,00	138,840	0,640	376,00	132,881	0,655	39,00	130,230	0,624	771,00
138,934	0,671	151,00	139,480	0,671	390,00	133,536	0,671	92,00	130,854	0,624	117,00
139,605	0,640	625,00	140,151	0,749	327,00	134,207	0,702	742,00	131,478	0,655	830,00
140,245	0,624	166,00	140,900	0,639	288,00	134,909	0,655	68,00	132,133	0,655	83,00
140,869	0,655	219,00	141,539	0,640	605,00	135,564	0,671	68,00	132,788	0,609	820,00

141,524	0,640	698,00	142,179	1,388	268,00	136,235	0,687	439,00	133,397	0,655	97,00
142,164	0,639	385,00	143,567	0,687	561,00	136,922	0,655	410,00	134,052	0,639	810,00
142,803	0,780	122,00	144,254	0,686	586,00	137,577	0,671	58,00	134,691	0,624	87,00
143,583	0,640	459,00	144,940	0,780	122,00	138,248	0,670	351,00	135,315	0,624	840,00
144,223	0,671	400,00	145,720	0,624	473,00	138,918	0,671	708,00	135,939	0,640	92,00
144,894	0,764	180,00	146,344	0,671	214,00	139,589	0,671	14,00	136,579	0,671	830,00
145,658	0,796	405,00	147,015	0,639	673,00	140,260	0,686	253,00	137,250	0,624	9,00
146,454	0,670	722,00	147,654	0,609	219,00	140,946	0,780	0,00	137,874	0,593	805,00
147,124	0,671	190,00	148,263	0,639	752,00	141,726	0,624	34,00	138,467	0,624	92,00
147,795	0,640	424,00	148,902	0,671	625,00	142,350	0,640	380,00	139,091	0,655	820,00
148,435	0,639	595,00	149,573	0,671	156,00	142,990	0,671	92,00	139,746	0,655	92,00
149,074	0,671	195,00	150,244	0,718	713,00	143,661	0,686	92,00	140,401	0,608	781,00
149,745	0,796	639,00	150,962	0,624	126,00	144,347	0,624	24,00	141,009	0,640	122,00
150,541	0,686	825,00	151,586	0,639	146,00	144,971	0,640	732,00	141,649	0,640	156,00
151,227	0,671	420,00	152,225	0,671	210,00	145,611	0,624	170,00	142,289	0,655	688,00
151,898	0,671	312,00	152,896	0,687	468,00	146,235	0,608	78,00	142,944	0,639	117,00
152,569	0,640	210,00	153,583	0,733	522,00	146,843	0,640	434,00	143,583	0,624	776,00
153,209	0,639	547,00	154,316	0,998	166,00	147,483	0,655	356,00	144,207	0,656	112,00
153,848	0,671	180,00	155,314	0,671	126,00	148,138	0,640	48,00	144,863	0,670	796,00
154,519	0,811	405,00	155,985	0,671	586,00	148,778	0,639	92,00	145,533	0,656	92,00
155,330	0,640	205,00	156,656	0,639	175,00	149,417	0,624	737,00	146,189	0,655	820,00
155,970	0,639	332,00	157,295	0,671	214,00	150,041	0,624	732,00	146,844	0,608	92,00
156,609	0,671	210,00	157,966	0,609	317,00	150,665	0,624	234,00	147,452	0,640	776,00
157,280	0,640	503,00	158,575	0,670	136,00	151,289	0,624	87,00	148,092	0,624	112,00
157,920	0,780	478,00	159,245	0,671	170,00	151,913	0,624	747,00	148,716	0,624	844,00
158,700	0,608	263,00	159,916	0,671	678,00	152,537	0,624	390,00	149,340	0,577	83,00
159,308	0,733	268,00	160,587	0,749	136,00	153,161	0,624	92,00	149,917	0,827	830,00
160,041	0,749	810,00	161,336	0,702	136,00	153,785	0,656	48,00	150,744	0,749	92,00
160,790	0,702	126,00	162,038	0,671	644,00	154,441	0,624	713,00	151,493	0,593	468,00
161,492	0,671	639,00	162,709	0,717	205,00	155,065	0,639	581,00	152,086	0,811	170,00
162,163	0,640	439,00	163,426	0,702	805,00	155,704	0,640	68,00	152,897	0,905	122,00
162,803	0,702	107,00	164,128	0,655	551,00	156,344	0,624	73,00	153,802	0,686	630,00
163,505	0,686	849,00	164,783	0,718	166,00	156,968	0,608	737,00	154,488	0,593	297,00
164,191	0,624	141,00	165,501	0,655	835,00	157,576	0,624	219,00	155,081	0,639	268,00
164,815	0,796	146,00	166,156	0,733	112,00	158,200	0,609	63,00	155,720	0,609	473,00
165,611	0,639	727,00	166,889	0,718	844,00	158,809	0,655	415,00	156,329	0,624	161,00
166,250	0,671	92,00	167,607	0,671	166,00	159,464	0,593	239,00	156,953	0,639	683,00
166,921	0,624	312,00	168,278	0,733	210,00	160,057	0,639	102,00	157,592	0,687	97,00
167,545	0,640	395,00	169,011	0,640	371,00	160,696	0,624	424,00	158,279	0,593	752,00
168,185	0,639	473,00	169,651	0,811	717,00	161,320	0,624	693,00	158,872	0,624	107,00
168,824	0,687	483,00	170,462	0,686	126,00	161,944	0,624	742,00	159,496	0,655	830,00
169,511	0,826	126,00	171,148	1,513	800,00	162,568	0,624	83,00	160,151	0,702	92,00
170,337	0,858	708,00	172,661	0,687	210,00	163,192	0,624	0,00	160,853	0,686	825,00
171,195	0,640	468,00	173,348	0,702	786,00	163,816	0,593	283,00	161,539	0,593	107,00
171,835	0,640	97,00	174,050	0,686	180,00	164,409	0,640	727,00	162,132	0,640	840,00
172,475	0,670	605,00	174,736	1,014	547,00	165,049	0,624	92,00	162,772	0,686	107,00
173,145	0,640	200,00	175,750	0,780	669,00	165,673	0,624	195,00	163,458	0,624	830,00
173,785	0,624	288,00	176,530	0,640	293,00	166,297	0,639	673,00	164,082	0,624	92,00
174,409	0,764	678,00	177,170	0,639	190,00	166,936	0,624	219,00	164,706	0,593	840,00
175,173	0,702	454,00	177,809	0,780	131,00	167,560	0,640	87,00	165,299	0,655	107,00
175,875	0,874	161,00	178,589	0,702	503,00	168,200	0,842	654,00	165,954	0,640	844,00
176,749	0,655	97,00	179,291	0,671	488,00	169,042	0,624	600,00	166,594	0,764	117,00
177,404	0,640	297,00	179,962	0,890	117,00	169,666	0,718	468,00	167,358	0,640	830,00
178,044	0,655	639,00	180,852	0,702	771,00	170,384	0,827	73,00	167,998	0,592	107,00
178,699	0,655	141,00	181,554	0,608	253,00	171,211	0,639	78,00	168,590	0,656	810,00
179,354	0,749	395,00	182,162	0,624	830,00	171,850	0,624	141,00	169,246	0,592	87,00
180,103	0,686	405,00	182,786	0,655	361,00	172,474	0,718	131,00	169,838	0,702	761,00
180,789	0,718	126,00	183,441	0,671	727,00	173,192	0,640	581,00	170,540	0,609	351,00
181,507	0,671	625,00	184,112	0,640	161,00	173,832	0,608	488,00	171,149	0,639	195,00
182,178	0,702	170,00	184,752	0,624	786,00	174,440	0,624	68,00	171,788	0,609	507,00
182,880	0,671	757,00	185,376	0,686	146,00	175,064	0,640	752,00	172,397	0,624	170,00
183,551	0,655	210,00	186,062	0,593	810,00	175,704	0,624	722,00	173,021	0,655	727,00
184,206	0,671	405,00	186,655	0,639	522,00	176,328	0,655	166,00	173,676	0,655	112,00
184,877	0,811	122,00	187,294	0,640	332,00	176,983	0,639	112,00	174,331	0,640	805,00
185,688	0,671	253,00	187,934	0,640	527,00	177,622	0,687	737,00	174,971	0,624	117,00
186,359	0,671	703,00	188,574	0,639	205,00	178,309	0,671	747,00	175,595	0,639	805,00
187,030	0,639	234,00	189,213	0,624	190,00	178,980	0,624	332,00	176,234	0,640	117,00
187,669	0,640	752,00	189,837	0,624	561,00	179,604	0,624	92,00	176,874	0,640	830,00
188,309	0,671	459,00	190,461	0,671	468,00	180,228	0,608	586,00	177,514	0,639	112,00
188,980	0,670	117,00	191,132	0,655	239,00	180,836	0,624	727,00	178,153	0,671	796,00
189,650	0,780	732,00	191,787	0,796	307,00	181,460	0,640	532,00	178,824	0,655	117,00
190,430	0,671	278,00	192,583	1,232	590,00	182,100	0,764	68,00	179,479	0,655	664,00

191,101	0,640	312,00	193,815	0,640	166,00	182,864	0,640	92,00	180,134	0,624	107,00
191,741	0,671	234,00	194,455	0,702	659,00	183,504	0,670	512,00	180,758	0,796	376,00
192,412	0,670	595,00	195,157	0,749	205,00	184,174	0,656	732,00	181,554	0,624	664,00
193,082	0,671	463,00	195,906	0,733	224,00	184,830	0,655	190,00	182,178	0,687	136,00
193,753	0,640	253,00	196,639	0,671	786,00	185,485	0,702	73,00	182,865	0,795	757,00
194,393	0,655	151,00	197,310	1,138	185,00	186,187	0,671	600,00	183,660	0,624	112,00
195,048	0,702	688,00	198,448	1,248	83,00	186,858	0,655	722,00	184,284	0,624	805,00
195,750	0,671	87,00	199,696	0,780	547,00	187,513	0,717	195,00	184,908	0,609	112,00
196,421	0,671	317,00	200,476	0,671	468,00	188,230	0,656	542,00	185,517	0,624	830,00
197,092	0,670	307,00	201,147	0,671	586,00	188,886	0,639	141,00	186,141	0,639	141,00
197,762	0,671	473,00	201,818	0,749	112,00	189,525	0,655	732,00	186,780	0,671	742,00
198,433	0,640	117,00	202,567	0,686	766,00	190,180	0,687	405,00	187,451	0,655	87,00
199,073	0,608	317,00	203,253	0,765	517,00	190,867	0,671	97,00	188,106	0,609	507,00
199,681	0,671	439,00	204,018	0,733	307,00	191,538	0,686	107,00	188,715	0,655	175,00
200,352	0,655	693,00	204,751	0,671	757,00	192,224	0,780	757,00	189,370	0,608	166,00
201,007	0,655	200,00	205,422	0,748	136,00	193,004	0,671	669,00	189,978	0,609	410,00
201,662	0,671	595,00	206,170	0,671	639,00	193,675	0,655	439,00	190,587	0,639	336,00
202,333	0,671	112,00	206,841	0,671	424,00	194,330	0,671	293,00	191,226	0,640	576,00
203,004	0,671	786,00	207,512	0,640	224,00	195,001	0,608	180,00	191,866	0,671	161,00
203,675	0,639	571,00	208,152	0,655	336,00	195,609	0,640	273,00	192,537	0,670	776,00
204,314	0,640	117,00	208,807	0,624	249,00	196,249	0,951	87,00	193,207	0,640	102,00
204,954	0,640	669,00	209,431	0,702	346,00	197,200	0,640	107,00	193,847	0,640	703,00
205,594	0,655	102,00	210,133	0,717	249,00	197,840	0,640	48,00	194,487	0,577	170,00
206,249	0,608	791,00	210,850	0,640	346,00	198,480	0,858	507,00	195,064	0,608	332,00
206,857	0,609	112,00	211,490	0,702	752,00	199,338	0,624	376,00	195,672	0,702	302,00
207,466	0,639	527,00	212,192	0,702	288,00	199,962	0,624	727,00	196,374	0,624	405,00
208,105	0,640	214,00	212,894	0,687	796,00	200,586	0,592	73,00	196,998	0,655	161,00
208,745	0,639	161,00	213,581	0,702	210,00	201,178	0,671	146,00	197,653	0,656	776,00
209,384	0,624	586,00	214,283	0,889	307,00	201,849	0,687	581,00	198,309	0,608	117,00
210,008	0,640	122,00	215,172	0,671	361,00	202,536	0,670	757,00	198,917	0,640	796,00
210,648	0,608	683,00	215,843	0,608	800,00	203,206	0,702	63,00	199,557	0,639	97,00
211,256	0,671	234,00	216,451	0,671	341,00	203,908	0,656	136,00	200,196	0,687	844,00
211,927	0,609	757,00	217,122	0,639	503,00	204,564	0,624	117,00	200,883	0,686	73,00
212,536	0,655	341,00	217,761	1,170	195,00	205,188	0,655	761,00	201,569	0,608	761,00
213,191	0,686	659,00	218,931	0,702	771,00	205,843	0,671	361,00	202,177	0,624	107,00
213,877	0,702	87,00	219,633	0,702	122,00	206,514	0,671	131,00	202,801	0,640	825,00
214,579	0,718	761,00	220,335	0,671	278,00	207,185	0,670	83,00	203,441	0,624	97,00
215,297	0,671	410,00	221,006	0,687	586,00	207,855	0,687	766,00	204,065	0,655	791,00
215,968	0,671	542,00	221,693	0,764	146,00	208,542	0,671	390,00	204,720	0,640	112,00
216,639	0,655	107,00	222,457	0,686	141,00	209,213	0,670	78,00	205,360	0,608	820,00
217,294	0,624	771,00	223,143	0,671	796,00	209,883	0,687	717,00	205,968	0,624	29,00
217,918	0,639	107,00	223,814	0,671	97,00	210,570	0,671	673,00	206,592	0,640	849,00
218,557	0,624	761,00	224,485	0,640	444,00	211,241	0,702	302,00	207,232	0,624	92,00
219,181	0,921	126,00	225,125	0,639	410,00	211,943	0,655	63,00	207,856	0,624	810,00
220,102	0,608	136,00	225,764	0,609	586,00	212,598	0,655	356,00	208,480	0,608	112,00
220,710	0,687	610,00	226,373	0,670	146,00	213,253	0,702	244,00	209,088	0,609	805,00
221,397	1,466	200,00	227,043	0,640	766,00	213,955	0,640	703,00	209,697	0,624	175,00
222,863	1,856	644,00	227,683	0,671	297,00	214,595	0,624	29,00	210,321	0,780	620,00
224,719	1,810	205,00	228,354	0,671	786,00	215,219	0,702	63,00	211,101	0,733	97,00
226,529	0,733	581,00	229,025	0,670	454,00	215,921	0,624	385,00	211,834	0,671	844,00
227,262	0,858	214,00	229,695	1,420	654,00	216,545	0,655	747,00	212,505	0,733	102,00
228,120	0,655	131,00	231,115	0,608	800,00	217,200	0,608	722,00	213,238	0,640	820,00
228,775	0,624	590,00	231,723	0,609	122,00	217,808	0,624	48,00	213,878	0,670	102,00
229,399	0,734	297,00	232,332	0,764	673,00	218,432	0,624	117,00	214,548	0,609	737,00
230,133	0,920	424,00	233,096	0,718	126,00	219,056	0,655	625,00	215,157	0,655	97,00
231,053	0,920	537,00	233,814	0,702	761,00	219,711	0,656	664,00	215,812	0,608	566,00
231,973	0,671	747,00	234,516	0,733	166,00	220,367	0,904	73,00	216,420	0,593	136,00
232,644	0,749	449,00	235,249	0,655	678,00	221,271	0,624	405,00	217,013	0,655	317,00
233,393	0,671	473,00	235,904	0,671	336,00	221,895	0,640	234,00	217,668	0,656	483,00
234,064	0,655	107,00	236,575	0,702	420,00	222,535	0,624	87,00	218,324	0,655	166,00
234,719	0,874	454,00	237,277	0,764	131,00	223,159	0,655	747,00	218,979	0,671	800,00
235,593	0,858	854,00	238,041	0,905	590,00	223,814	0,624	263,00	219,650	0,577	97,00
236,451	0,826	615,00	238,946	0,609	493,00	224,438	0,640	87,00	220,227	0,608	805,00
237,277	0,671	131,00	239,555	0,904	449,00	225,078	0,608	87,00	220,835	0,609	97,00
237,948	0,655	566,00	240,459	0,656	796,00	225,686	0,624	747,00	221,444	0,639	576,00
238,603	0,655	107,00	241,115	0,670	356,00	226,310	0,640	151,00	222,083	0,640	146,00
230,122	0,918	424,00	241,785	0,702	126,00	226,950	0,624	87,00	222,723	0,655	800,00

GNV - 1000 rpm											
NGK			BOSCH			DELPHI			THOMSON		
Tensão	Mínimo	73,00	Tensão	Mínimo	58,00	Tensão	Mínimo	0,00	Tensão	Mínimo	0,00
	Máximo	903,00		Máximo	923,00		Máximo	830,00		Máximo	908,00
	Média	507,61		Média	528,59		Média	490,51		Média	515,45
Tempo de resposta		0,671	Tempo de resposta		0,676	Tempo de resposta		0,655	Tempo de resposta		0,649
Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão
0,000	0,687	200,00	0,000	0,608	97,00	0,000	0,655	78,00	0,000	0,624	815,00
0,687	0,624	815,00	0,608	0,593	136,00	0,655	0,640	420,00	0,624	0,624	48,00
1,311	0,671	141,00	1,201	0,609	151,00	1,295	0,624	830,00	1,248	0,655	766,00
1,982	0,670	683,00	1,810	0,639	288,00	1,919	0,624	185,00	1,903	0,640	649,00
2,652	0,671	810,00	2,449	0,609	825,00	2,543	0,624	737,00	2,543	0,655	73,00
3,323	0,671	180,00	3,058	0,639	879,00	3,167	0,717	825,00	3,198	0,608	800,00
3,994	0,702	849,00	3,697	0,640	903,00	3,884	0,656	83,00	3,806	0,609	58,00
4,696	0,749	78,00	4,337	0,671	727,00	4,540	0,655	722,00	4,415	0,655	73,00
5,445	0,671	615,00	5,008	0,639	898,00	5,195	0,873	791,00	5,070	0,577	791,00
6,116	0,670	825,00	5,647	0,671	869,00	6,068	0,624	78,00	5,647	0,640	92,00
6,786	0,702	351,00	6,318	0,655	136,00	6,692	0,624	678,00	6,287	0,593	415,00
7,488	0,687	840,00	6,973	0,718	278,00	7,316	0,624	830,00	6,880	0,670	830,00
8,175	0,671	136,00	7,691	0,686	835,00	7,940	0,624	576,00	7,550	0,609	63,00
8,846	0,670	605,00	8,377	0,796	577,00	8,564	0,718	678,00	8,159	0,655	566,00
9,516	0,702	854,00	9,173	0,640	297,00	9,282	0,593	420,00	8,814	0,655	840,00
10,218	0,718	537,00	9,813	0,655	322,00	9,875	0,639	727,00	9,469	0,655	73,00
10,936	0,671	815,00	10,468	0,671	800,00	10,514	0,609	757,00	10,124	0,609	810,00
11,607	0,639	92,00	11,139	0,639	224,00	11,123	0,639	117,00	10,733	0,686	854,00
12,246	0,640	810,00	11,778	0,687	571,00	11,762	0,624	791,00	11,419	0,640	68,00
12,886	0,640	537,00	12,465	0,686	117,00	12,386	0,624	83,00	12,059	0,639	825,00
13,526	0,670	732,00	13,151	0,640	107,00	13,010	0,640	820,00	12,698	0,687	786,00
14,196	0,702	361,00	13,791	0,670	78,00	13,650	0,624	4,00	13,385	0,593	53,00
14,898	0,671	649,00	14,461	0,609	73,00	14,274	0,686	771,00	13,978	0,624	825,00
15,569	0,687	429,00	15,070	0,671	97,00	14,960	0,640	63,00	14,602	0,670	503,00
16,256	0,670	644,00	15,741	0,670	185,00	15,600	0,655	776,00	15,272	0,687	78,00
16,926	0,671	434,00	16,411	0,671	478,00	16,255	0,624	351,00	15,959	0,671	849,00
17,597	0,671	776,00	17,082	0,733	537,00	16,879	0,640	351,00	16,630	0,639	551,00
18,268	0,640	253,00	17,815	0,624	742,00	17,519	0,702	805,00	17,269	0,640	78,00
18,908	0,717	825,00	18,439	0,640	884,00	18,221	0,655	747,00	17,909	0,624	844,00
19,625	0,702	102,00	19,079	0,624	796,00	18,876	0,655	449,00	18,533	0,624	92,00
20,327	0,671	400,00	19,703	0,640	918,00	19,531	0,624	644,00	19,157	0,608	571,00
20,998	0,671	781,00	20,343	0,717	908,00	20,155	0,671	53,00	19,765	0,702	854,00
21,669	0,671	224,00	21,060	0,671	800,00	20,826	0,671	771,00	20,467	0,671	78,00
22,340	0,670	800,00	21,731	0,686	650,00	21,497	0,655	58,00	21,138	0,593	800,00
23,010	0,671	170,00	22,417	0,656	781,00	22,152	0,671	766,00	21,731	0,640	810,00
23,681	0,671	830,00	23,073	0,639	395,00	22,823	0,671	112,00	22,371	0,624	83,00
24,352	0,718	673,00	23,712	0,640	825,00	23,494	0,639	703,00	22,995	0,639	835,00
25,070	0,670	747,00	24,352	0,702	654,00	24,133	0,656	219,00	23,634	0,843	815,00
25,740	0,671	830,00	25,054	0,639	551,00	24,789	0,686	776,00	24,477	0,670	83,00
26,411	0,671	415,00	25,693	0,640	713,00	25,475	0,655	551,00	25,147	0,624	869,00
27,082	0,671	835,00	26,333	0,624	166,00	26,130	0,702	761,00	25,771	0,640	175,00
27,753	0,640	571,00	26,957	0,655	556,00	26,832	0,655	820,00	26,411	0,827	390,00
28,393	0,670	332,00	27,612	0,640	717,00	27,487	0,671	444,00	27,238	0,624	820,00
29,063	0,671	698,00	28,252	0,639	97,00	28,158	0,687	757,00	27,862	0,593	58,00
29,734	0,687	185,00	28,891	0,671	605,00	28,845	0,670	39,00	28,455	0,608	835,00
30,421	0,670	703,00	29,562	0,952	210,00	29,515	0,687	693,00	29,063	0,811	336,00
31,091	0,671	742,00	30,514	0,764	97,00	30,202	0,608	83,00	29,874	0,687	639,00
31,762	0,640	512,00	31,278	0,640	78,00	30,810	0,593	776,00	30,561	0,592	810,00
32,402	0,639	879,00	31,918	0,717	117,00	31,403	0,640	708,00	31,153	0,624	87,00
33,041	0,640	97,00	32,635	0,640	293,00	32,043	0,670	698,00	31,777	0,656	776,00
33,681	0,686	249,00	33,275	0,640	434,00	32,713	0,656	717,00	32,433	0,624	844,00
34,367	0,640	796,00	33,915	0,702	874,00	33,369	0,608	107,00	33,057	0,592	92,00
35,007	0,780	92,00	34,617	0,749	556,00	33,977	0,686	820,00	33,649	0,656	786,00
35,787	0,702	786,00	35,366	0,717	888,00	34,663	0,796	126,00	34,305	0,639	810,00
36,489	0,655	429,00	36,083	0,655	903,00	35,459	0,858	781,00	34,944	0,655	87,00
37,144	0,702	840,00	36,738	0,718	888,00	36,317	0,608	722,00	35,599	0,593	840,00
37,846	0,671	151,00	37,456	0,640	703,00	36,925	0,624	737,00	36,192	0,640	815,00
38,517	0,671	805,00	38,096	0,639	840,00	37,549	0,640	97,00	36,832	0,608	78,00
39,188	0,702	312,00	38,735	0,671	253,00	38,189	0,608	766,00	37,440	0,640	835,00
39,890	0,639	815,00	39,406	0,733	791,00	38,797	0,624	43,00	38,080	0,671	512,00
40,529	0,656	92,00	40,139	0,640	253,00	39,421	0,624	810,00	38,751	0,655	239,00
41,185	0,655	615,00	40,779	0,655	752,00	40,045	0,640	253,00	39,406	0,639	820,00
41,840	0,686	649,00	41,434	0,624	874,00	40,685	0,655	805,00	40,045	0,640	83,00
42,526	0,687	639,00	42,058	0,733	884,00	41,340	0,624	703,00	40,685	0,640	781,00

43,213	0,686	884,00	42,791	0,655	874,00	41,964	0,609	630,00	41,325	0,670	844,00
43,899	0,640	444,00	43,446	0,671	859,00	42,573	0,624	327,00	41,995	0,624	83,00
44,539	0,702	390,00	44,117	0,702	532,00	43,197	0,624	805,00	42,619	0,624	717,00
45,241	0,655	141,00	44,819	0,640	498,00	43,821	0,624	39,00	43,243	0,624	854,00
45,896	0,624	322,00	45,459	0,702	854,00	44,445	0,639	708,00	43,867	0,609	87,00
46,520	0,639	678,00	46,161	0,639	732,00	45,084	0,609	815,00	44,476	0,608	800,00
47,159	0,640	503,00	46,800	0,687	68,00	45,693	0,624	195,00	45,084	0,811	805,00
47,799	0,608	351,00	47,487	0,702	83,00	46,317	0,624	649,00	45,895	0,827	68,00
48,407	0,656	713,00	48,189	0,702	820,00	46,941	0,624	781,00	46,722	0,687	864,00
49,063	0,639	439,00	48,891	0,639	830,00	47,565	0,624	463,00	47,409	0,655	78,00
49,702	0,671	361,00	49,530	0,702	122,00	48,189	0,639	776,00	48,064	0,671	835,00
50,373	0,608	849,00	50,232	0,734	590,00	48,828	0,655	48,00	48,735	0,639	771,00
50,981	0,640	131,00	50,966	0,624	830,00	49,483	0,609	752,00	49,374	0,655	117,00
51,621	0,640	639,00	51,590	0,639	361,00	50,092	0,640	713,00	50,029	0,624	859,00
52,261	0,639	727,00	52,229	0,733	63,00	50,732	0,639	507,00	50,653	0,640	131,00
52,900	0,671	498,00	52,962	0,671	830,00	51,371	0,609	742,00	51,293	0,609	102,00
53,571	0,671	683,00	53,633	0,609	849,00	51,980	0,624	29,00	51,902	0,624	854,00
54,242	0,717	273,00	54,242	0,639	561,00	52,604	0,608	810,00	52,526	0,655	126,00
54,959	0,702	737,00	54,881	0,640	78,00	53,212	0,608	0,00	53,181	0,671	87,00
55,661	0,671	112,00	55,521	0,639	107,00	53,820	0,640	796,00	53,852	0,670	859,00
56,332	0,905	874,00	56,160	0,624	849,00	54,460	0,624	43,00	54,522	0,609	336,00
57,237	0,702	141,00	56,784	0,609	825,00	55,084	0,624	796,00	55,131	0,655	302,00
57,939	0,702	717,00	57,393	0,686	87,00	55,708	0,624	229,00	55,786	0,671	869,00
58,641	0,655	791,00	58,079	0,609	805,00	56,332	0,624	776,00	56,457	0,951	136,00
59,296	0,734	522,00	58,688	0,608	840,00	56,956	0,624	146,00	57,408	0,640	815,00
60,030	0,686	844,00	59,296	0,640	156,00	57,580	0,624	610,00	58,048	0,655	161,00
60,716	0,655	102,00	59,936	0,639	68,00	58,204	0,624	595,00	58,703	0,796	336,00
61,371	0,655	717,00	60,575	0,624	820,00	58,828	0,640	708,00	59,499	0,639	854,00
62,026	0,656	439,00	61,199	0,655	849,00	59,468	0,624	708,00	60,138	0,656	48,00
62,682	0,670	673,00	61,854	0,734	307,00	60,092	0,624	156,00	60,794	0,655	840,00
63,352	0,656	78,00	62,588	0,702	83,00	60,716	0,639	810,00	61,449	0,686	268,00
64,008	0,686	107,00	63,290	0,608	844,00	61,355	0,624	24,00	62,135	0,858	483,00
64,694	0,671	879,00	63,898	0,609	849,00	61,979	0,624	781,00	62,993	0,702	717,00
65,365	0,671	527,00	64,507	0,655	781,00	62,603	0,624	576,00	63,695	0,702	239,00
66,036	0,670	166,00	65,162	0,717	83,00	63,227	0,624	97,00	64,397	0,702	844,00
66,706	0,609	859,00	65,879	0,671	112,00	63,851	0,749	664,00	65,099	0,624	92,00
67,315	0,671	205,00	66,550	0,671	854,00	64,600	0,624	810,00	65,723	0,640	786,00
67,986	0,639	600,00	67,221	0,718	869,00	65,224	0,889	151,00	66,363	0,608	781,00
68,625	0,640	136,00	67,939	0,670	366,00	66,113	0,624	757,00	66,971	0,655	78,00
69,265	0,733	117,00	68,609	0,671	131,00	66,737	0,609	68,00	67,626	0,671	815,00
69,998	0,718	717,00	69,280	0,671	849,00	67,346	0,592	781,00	68,297	0,655	742,00
70,716	0,655	844,00	69,951	0,655	849,00	67,938	0,671	24,00	68,952	0,578	39,00
71,371	0,624	156,00	70,606	0,671	180,00	68,609	0,624	732,00	69,530	0,670	835,00
71,995	0,624	849,00	71,277	0,655	78,00	69,233	0,640	102,00	70,200	0,640	820,00
72,619	0,608	161,00	71,932	0,718	747,00	69,873	0,671	771,00	70,840	0,655	97,00
73,227	0,640	415,00	72,650	0,702	864,00	70,544	0,624	156,00	71,495	0,609	830,00
73,867	0,671	786,00	73,352	0,671	468,00	71,168	0,624	727,00	72,104	0,624	131,00
74,538	0,702	102,00	74,023	0,655	83,00	71,792	0,624	361,00	72,728	0,639	620,00
75,240	0,686	542,00	74,678	0,671	830,00	72,416	0,639	732,00	73,367	0,671	859,00
75,926	0,686	815,00	75,349	0,670	859,00	73,055	0,624	102,00	74,038	0,640	102,00
76,612	0,687	97,00	76,019	0,624	468,00	73,679	0,624	761,00	74,678	0,686	742,00
77,299	0,733	786,00	76,643	0,640	102,00	74,303	0,609	68,00	75,364	0,624	844,00
78,032	0,686	625,00	77,283	0,686	654,00	74,912	0,624	771,00	75,988	0,608	92,00
78,718	0,671	424,00	77,969	0,640	859,00	75,536	0,624	429,00	76,596	0,624	752,00
79,389	0,749	170,00	78,609	0,624	410,00	76,160	0,624	678,00	77,220	0,640	830,00
80,138	0,811	737,00	79,233	0,671	97,00	76,784	0,624	776,00	77,860	0,608	0,00
80,949	0,702	117,00	79,904	0,655	742,00	77,408	0,624	24,00	78,468	0,656	835,00
81,651	0,671	400,00	80,559	0,733	864,00	78,032	0,624	796,00	79,124	0,624	424,00
82,322	0,671	835,00	81,292	0,671	620,00	78,656	0,624	112,00	79,748	0,670	361,00
82,993	0,686	102,00	81,963	0,718	97,00	79,280	0,624	468,00	80,418	0,624	825,00
83,679	0,671	683,00	82,681	0,670	722,00	79,904	0,608	722,00	81,042	0,624	97,00
84,350	0,671	605,00	83,351	0,640	849,00	80,512	0,624	170,00	81,666	0,656	844,00
85,021	0,749	376,00	83,991	0,624	717,00	81,136	0,609	781,00	82,322	0,577	835,00
85,770	0,670	844,00	84,615	0,671	87,00	81,745	0,624	19,00	82,899	0,593	92,00
86,440	0,702	234,00	85,286	0,655	810,00	82,369	0,624	786,00	83,492	0,655	757,00
87,142	0,609	854,00	85,941	0,671	844,00	82,993	0,624	268,00	84,147	0,608	854,00
87,751	0,655	649,00	86,612	0,671	234,00	83,617	0,624	766,00	84,755	0,671	97,00
88,406	0,655	307,00	87,283	0,670	92,00	84,241	0,624	24,00	85,426	0,609	752,00
89,061	0,671	781,00	87,953	0,671	815,00	84,865	0,655	747,00	86,035	0,780	849,00
89,732	0,640	761,00	88,624	0,671	864,00	85,520	0,671	136,00	86,815	0,702	68,00
90,372	0,671	83,00	89,295	0,608	757,00	86,191	0,624	610,00	87,517	0,624	800,00
91,043	0,889	683,00	89,903	0,671	97,00	86,815	0,686	493,00	88,141	0,624	200,00







188,325	0,671	527,00	187,700	0,734	146,00	182,786	0,687	68,00	181,211	0,593	112,00
188,996	0,686	791,00	188,434	0,671	830,00	183,473	0,655	722,00	181,804	0,592	766,00
189,682	0,702	190,00	189,105	0,655	888,00	184,128	0,686	757,00	182,396	0,640	859,00
190,384	0,780	805,00	189,760	0,671	903,00	184,814	0,921	43,00	183,036	0,889	78,00
191,164	0,671	73,00	190,431	0,670	527,00	185,735	0,639	737,00	183,925	1,030	869,00
191,835	0,671	786,00	191,101	0,671	249,00	186,374	0,640	24,00	184,955	0,655	83,00
192,506	0,608	454,00	191,772	0,671	605,00	187,014	0,655	761,00	185,610	0,608	385,00
193,114	0,671	566,00	192,443	0,718	742,00	187,669	0,640	449,00	186,218	0,593	849,00
193,785	0,639	483,00	193,161	0,655	415,00	188,309	0,686	503,00	186,811	0,624	219,00
194,424	0,702	737,00	193,816	0,686	771,00	188,995	0,640	761,00	187,435	0,609	112,00
195,126	0,609	195,00	194,502	0,671	571,00	189,635	0,671	380,00	188,044	0,624	859,00
195,735	0,639	844,00	195,173	0,640	605,00	190,306	0,686	771,00	188,668	0,655	322,00
196,374	0,640	371,00	195,813	0,670	869,00	190,992	0,671	161,00	189,323	0,593	639,00
197,014	0,671	556,00	196,483	0,640	537,00	191,663	0,702	483,00	189,916	0,624	869,00
197,685	0,671	253,00	197,123	0,733	820,00	192,365	0,702	483,00	190,540	0,639	97,00
198,356	0,608	683,00	197,856	0,655	185,00	193,067	0,702	654,00	191,179	0,593	825,00
198,964	0,686	229,00	198,511	0,640	405,00	193,769	0,671	380,00	191,772	0,686	727,00
199,650	0,734	97,00	199,151	0,640	752,00	194,440	0,670	654,00	192,458	0,671	92,00
200,384	0,639	815,00	199,791	0,655	180,00	195,110	0,640	0,00	193,129	0,640	849,00
201,023	0,671	566,00	200,446	0,717	263,00	195,750	0,640	766,00	193,769	0,655	415,00
201,694	0,640	473,00	201,163	0,671	869,00	196,390	0,655	698,00	194,424	0,593	771,00
202,334	0,655	126,00	201,834	0,671	210,00	197,045	0,671	68,00	195,017	0,639	835,00
202,989	0,639	639,00	202,505	0,733	590,00	197,716	0,702	761,00	195,656	0,656	87,00
203,628	0,671	97,00	203,238	0,640	297,00	198,418	0,639	327,00	196,312	0,702	761,00
204,299	0,827	669,00	203,878	0,686	605,00	199,057	0,687	761,00	197,014	0,592	805,00
205,126	0,671	97,00	204,564	0,702	459,00	199,744	0,686	713,00	197,606	0,671	107,00
205,797	0,639	503,00	205,266	0,702	551,00	200,430	0,671	683,00	198,277	0,640	805,00
206,436	0,671	722,00	205,968	0,718	302,00	201,101	0,717	24,00	198,917	0,608	166,00
207,107	0,671	244,00	206,686	0,671	859,00	201,818	0,640	761,00	199,525	0,655	302,00
207,778	0,671	742,00	207,357	0,764	390,00	202,458	0,624	449,00	200,180	0,687	844,00
208,449	0,639	112,00	208,121	0,686	229,00	203,082	0,702	698,00	200,867	0,671	97,00
209,088	0,640	810,00	208,807	0,671	102,00	203,784	0,640	234,00	201,538	0,608	796,00
209,728	0,702	820,00	209,478	0,702	317,00	204,424	0,639	742,00	202,146	0,702	825,00
210,430	0,702	253,00	210,180	0,671	112,00	205,063	0,640	757,00	202,848	0,640	117,00
211,132	0,655	610,00	210,851	0,671	556,00	205,703	0,874	48,00	203,488	0,639	844,00
211,787	0,671	796,00	211,522	0,639	522,00	206,577	0,655	737,00	204,127	0,640	200,00
212,458	0,671	78,00	212,161	0,749	888,00	207,232	0,639	561,00	204,767	0,608	73,00
213,129	0,671	512,00	212,910	0,624	898,00	207,871	0,624	747,00	205,375	0,624	776,00
213,800	0,671	805,00	213,534	0,702	908,00	208,495	0,749	747,00	205,999	0,655	810,00
214,471	0,670	532,00	214,236	0,671	317,00	209,244	0,609	708,00	206,654	0,796	97,00
215,141	0,718	229,00	214,907	0,655	620,00	209,853	0,639	786,00	207,450	0,983	849,00
215,859	0,640	840,00	215,562	0,640	903,00	210,492	0,624	39,00	208,433	0,640	92,00
216,499	0,639	600,00	216,202	0,639	581,00	211,116	0,624	752,00	209,073	0,624	800,00
217,138	0,624	97,00	216,841	0,702	361,00	211,740	0,640	24,00	209,697	0,624	781,00
217,762	0,640	327,00	217,543	0,718	507,00	212,380	0,624	771,00	210,321	0,998	210,00
218,402	0,608	884,00	218,261	0,671	512,00	213,004	0,639	757,00	211,319	0,624	791,00
219,010	0,624	410,00	218,932	0,702	693,00	213,643	0,671	34,00	211,943	0,640	83,00
219,634	0,718	200,00	219,634	0,671	278,00	214,314	0,640	791,00	212,583	0,655	786,00
220,352	0,702	859,00	220,305	0,655	888,00	214,954	0,827	83,00	213,238	0,639	796,00
221,054	0,702	249,00	220,960	0,655	844,00	215,781	0,670	776,00	213,877	0,702	102,00
221,756	0,639	805,00	221,615	0,687	888,00	216,451	0,609	122,00	214,579	0,593	761,00
222,395	0,671	385,00	222,302	0,733	859,00	217,060	0,639	761,00	215,172	0,640	112,00
223,066	0,640	620,00	223,035	0,655	923,00	217,699	0,640	776,00	215,812	0,639	800,00
223,706	0,608	634,00	223,690	0,671	854,00	218,339	0,624	83,00	216,451	0,640	859,00
224,314	0,671	234,00	224,361	0,671	556,00	218,963	0,624	796,00	217,091	0,608	87,00
224,985	0,686	835,00	225,032	0,655	844,00	219,587	0,640	63,00	217,699	0,640	757,00
225,671	0,624	459,00	225,687	0,686	561,00	220,227	0,608	766,00	218,339	0,624	815,00
226,295	0,640	83,00	226,373	0,702	258,00	220,835	0,624	29,00	218,963	0,655	107,00
226,935	0,671	542,00	227,075	0,796	776,00	221,459	0,624	620,00	219,618	0,655	781,00
227,606	0,639	654,00	227,871	0,702	493,00	222,083	0,686	771,00	220,273	0,593	835,00
228,245	0,656	73,00	228,573	0,671	664,00	222,769	0,796	19,00	220,866	0,624	92,00
228,901	0,608	576,00	229,244	1,138	786,00	223,565	0,655	776,00	221,490	0,640	815,00
229,509	0,702	844,00	230,382	0,765	346,00	224,220	0,640	332,00	222,130	0,639	791,00
230,211	0,655	92,00	231,147	0,686	210,00	224,860	0,671	742,00	222,769	0,640	83,00

E100 - 3000 rpm											
NGK			BOSCH			DELPHI			THOMSON		
Tensão	Mínimo	53,00	Tensão	Mínimo	24,00	Tensão	Mínimo	0,00	Tensão	Mínimo	0,00
	Máximo	908,00		Máximo	874,00		Máximo	888,00		Máximo	898,00
	Média	501,95		Média	473,79		Média	481,87		Média	460,17
Tempo de resposta		0,701	Tempo de resposta		0,689	Tempo de resposta		0,655	Tempo de resposta		0,643
Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão
0,000	0,702	78,00	0,000	0,718	29,00	0,000	0,655	757,00	0,000	0,639	14,00
0,702	0,702	874,00	0,718	0,671	825,00	0,655	0,656	825,00	0,639	0,593	854,00
1,404	0,686	903,00	1,389	0,670	136,00	1,311	0,655	859,00	1,232	0,624	68,00
2,090	0,765	68,00	2,059	0,671	205,00	1,966	0,671	571,00	1,856	0,593	800,00
2,855	0,717	253,00	2,730	0,671	859,00	2,637	0,655	39,00	2,449	0,624	864,00
3,572	0,749	908,00	3,401	0,671	73,00	3,292	0,624	488,00	3,073	0,624	58,00
4,321	0,733	732,00	4,072	0,671	864,00	3,916	0,639	840,00	3,697	0,624	380,00
5,054	0,687	58,00	4,743	0,748	48,00	4,555	0,656	717,00	4,321	0,624	884,00
5,741	0,702	830,00	5,491	0,702	849,00	5,211	0,686	9,00	4,945	0,655	58,00
6,443	0,717	898,00	6,193	0,671	39,00	5,897	0,655	151,00	5,600	0,640	615,00
7,160	0,734	732,00	6,864	0,624	771,00	6,552	0,687	849,00	6,240	0,624	840,00
7,894	0,717	68,00	7,488	0,655	302,00	7,239	0,655	840,00	6,864	0,624	63,00
8,611	0,780	571,00	8,143	0,858	224,00	7,894	0,655	53,00	7,488	0,608	864,00
9,391	0,702	874,00	9,001	0,640	825,00	8,549	0,686	205,00	8,096	0,624	48,00
10,093	0,718	884,00	9,641	0,671	39,00	9,235	0,671	825,00	8,720	0,608	87,00
10,811	0,811	63,00	10,312	0,639	835,00	9,906	0,655	884,00	9,328	0,640	888,00
11,622	0,733	156,00	10,951	0,640	39,00	10,561	0,702	849,00	9,968	0,780	58,00
12,355	0,718	869,00	11,591	0,671	844,00	11,263	0,671	39,00	10,748	0,905	68,00
13,073	0,702	830,00	12,262	0,671	39,00	11,934	0,702	68,00	11,653	0,593	78,00
13,775	0,671	63,00	12,933	0,670	766,00	12,636	0,687	840,00	12,246	0,764	879,00
14,446	0,670	620,00	13,603	0,671	341,00	13,323	0,639	854,00	13,010	0,764	844,00
15,116	0,890	903,00	14,274	0,749	600,00	13,962	0,702	78,00	13,774	0,671	39,00
16,006	0,639	869,00	15,023	0,983	854,00	14,664	0,655	39,00	14,445	0,671	327,00
16,645	0,671	68,00	16,006	0,951	34,00	15,319	0,656	727,00	15,116	0,624	884,00
17,316	0,780	859,00	16,957	0,656	48,00	15,975	0,639	869,00	15,740	0,671	791,00
18,096	0,733	884,00	17,613	0,702	859,00	16,614	0,609	800,00	16,411	0,593	24,00
18,829	0,827	63,00	18,315	0,670	34,00	17,223	0,624	854,00	17,004	0,608	820,00
19,656	0,671	92,00	18,985	0,734	864,00	17,847	0,624	136,00	17,612	0,718	547,00
20,327	0,671	854,00	19,719	0,686	34,00	18,471	0,624	48,00	18,330	0,795	19,00
20,998	0,670	888,00	20,405	0,749	825,00	19,095	0,639	219,00	19,125	0,655	737,00
21,668	0,671	175,00	21,154	0,640	444,00	19,734	0,624	815,00	19,780	0,624	844,00
22,339	0,655	92,00	21,794	0,702	166,00	20,358	0,827	825,00	20,404	0,624	19,00
22,994	0,671	854,00	22,496	0,670	854,00	21,185	0,624	854,00	21,028	0,640	551,00
23,665	0,765	879,00	23,166	0,671	68,00	21,809	0,671	53,00	21,668	0,577	844,00
24,430	0,670	73,00	23,837	0,640	849,00	22,480	0,608	53,00	22,245	0,624	53,00
25,100	0,687	688,00	24,477	0,858	43,00	23,088	0,656	463,00	22,869	0,624	434,00
25,787	0,671	884,00	25,335	0,702	825,00	23,744	0,608	810,00	23,493	0,624	849,00
26,458	0,670	78,00	26,037	0,702	34,00	24,352	0,624	48,00	24,117	0,593	63,00
27,128	0,702	258,00	26,739	0,671	581,00	24,976	0,624	78,00	24,710	0,608	48,00
27,830	0,687	879,00	27,410	0,702	766,00	25,600	0,608	732,00	25,318	0,624	888,00
28,517	0,702	874,00	28,112	0,686	87,00	26,208	0,624	849,00	25,942	0,624	58,00
29,219	0,655	151,00	28,798	0,733	864,00	26,832	0,624	698,00	26,566	0,640	830,00
29,874	0,718	92,00	29,531	0,702	39,00	27,456	0,624	48,00	27,206	0,655	815,00
30,592	0,670	835,00	30,233	0,718	849,00	28,080	0,609	854,00	27,861	0,640	58,00
31,262	0,702	893,00	30,951	0,624	29,00	28,689	0,624	864,00	28,501	0,593	776,00
31,964	0,687	58,00	31,575	0,655	830,00	29,313	0,608	29,00	29,094	0,608	820,00
32,651	0,671	185,00	32,230	0,811	43,00	29,921	0,624	146,00	29,702	0,609	53,00
33,322	0,733	859,00	33,041	0,640	175,00	30,545	0,655	854,00	30,311	0,592	835,00
34,055	0,718	869,00	33,681	0,702	840,00	31,200	0,609	639,00	30,903	0,609	849,00
34,773	1,232	63,00	34,383	0,686	58,00	31,809	0,624	58,00	31,512	0,655	48,00
36,005	0,671	879,00	35,069	0,921	859,00	32,433	0,639	776,00	32,167	0,608	732,00
36,676	0,671	87,00	35,990	0,655	713,00	33,072	0,609	888,00	32,775	0,656	849,00
37,347	0,639	156,00	36,645	0,655	327,00	33,681	0,593	58,00	33,431	0,592	53,00
37,986	0,671	869,00	37,300	0,640	844,00	34,274	0,639	63,00	34,023	0,656	825,00
38,657	0,702	757,00	37,940	0,733	73,00	34,913	0,624	849,00	34,679	0,639	840,00
39,359	0,686	63,00	38,673	0,671	864,00	35,537	0,624	869,00	35,318	0,655	53,00
40,045	0,702	840,00	39,344	0,670	43,00	36,161	0,640	43,00	35,973	0,656	761,00
40,747	0,718	884,00	40,014	0,718	840,00	36,801	0,624	405,00	36,629	0,655	864,00
41,465	0,702	58,00	40,732	0,640	34,00	37,425	0,608	864,00	37,284	0,608	29,00
42,167	0,702	825,00	41,372	0,639	849,00	38,033	0,640	654,00	37,892	0,671	258,00
42,869	0,718	884,00	42,011	0,702	34,00	38,673	0,639	24,00	38,563	0,640	879,00
43,587	0,748	78,00	42,713	0,702	742,00	39,312	0,624	791,00	39,203	0,686	39,00
44,335	0,671	102,00	43,415	0,671	825,00	39,936	0,609	864,00	39,889	0,640	68,00
45,006	0,671	869,00	44,086	0,749	63,00	40,545	0,624	58,00	40,529	0,624	849,00







197,528	0,702	864,00	192,537	0,670	849,00	183,005	0,655	283,00	179,369	0,640	844,00
198,230	0,702	78,00	193,207	0,656	34,00	183,660	0,655	849,00	180,009	0,640	737,00
198,932	0,999	151,00	193,863	0,780	840,00	184,315	0,702	874,00	180,649	0,592	24,00
199,931	0,671	78,00	194,643	0,748	288,00	185,017	0,656	43,00	181,241	0,624	796,00
200,602	0,670	527,00	195,391	0,671	83,00	185,673	0,686	43,00	181,865	0,624	654,00
201,272	0,671	864,00	196,062	0,671	854,00	186,359	0,686	820,00	182,489	0,593	0,00
201,943	0,609	732,00	196,733	0,640	39,00	187,045	0,656	874,00	183,082	0,609	849,00
202,552	0,780	68,00	197,373	0,686	864,00	187,701	0,686	820,00	183,691	0,624	537,00
203,332	0,670	278,00	198,059	0,671	43,00	188,387	0,671	39,00	184,315	0,624	43,00
204,002	0,921	815,00	198,730	0,655	825,00	189,058	0,593	58,00	184,939	0,577	820,00
204,923	0,671	859,00	199,385	0,608	39,00	189,651	0,639	835,00	185,516	0,702	757,00
205,594	0,639	87,00	199,993	0,718	835,00	190,290	0,640	849,00	186,218	0,593	48,00
206,233	0,640	117,00	200,711	0,671	43,00	190,930	0,639	68,00	186,811	0,639	854,00
206,873	0,671	815,00	201,382	0,671	825,00	191,569	0,671	53,00	187,450	0,640	346,00
207,544	0,702	825,00	202,053	0,639	581,00	192,240	0,640	825,00	188,090	0,624	0,00
208,246	0,670	68,00	202,692	0,702	459,00	192,880	0,655	849,00	188,714	0,671	849,00
208,916	0,749	766,00	203,394	0,671	820,00	193,535	0,593	644,00	189,385	0,655	654,00
209,665	0,655	840,00	204,065	0,655	327,00	194,128	0,655	19,00	190,040	0,780	53,00
210,320	0,671	131,00	204,720	0,671	752,00	194,783	0,671	757,00	190,820	0,796	713,00
210,991	0,702	73,00	205,391	1,014	566,00	195,454	0,655	869,00	191,616	0,608	859,00
211,693	0,733	146,00	206,405	0,640	830,00	196,109	0,671	854,00	192,224	0,608	48,00
212,426	0,687	800,00	207,045	0,608	29,00	196,780	0,655	39,00	192,832	1,077	29,00
213,113	0,671	854,00	207,653	0,671	849,00	197,435	0,655	175,00	193,909	0,624	58,00
213,784	0,748	463,00	208,324	0,640	34,00	198,090	0,640	786,00	194,533	0,655	761,00
214,532	0,671	122,00	208,964	0,670	849,00	198,730	0,608	356,00	195,188	0,640	849,00
215,203	0,671	112,00	209,634	0,671	39,00	199,338	0,624	0,00	195,828	0,655	29,00
215,874	0,671	87,00	210,305	0,718	835,00	199,962	0,655	825,00	196,483	0,686	87,00
216,545	0,671	786,00	211,023	0,671	53,00	200,617	0,609	874,00	197,169	0,749	771,00
217,216	0,670	854,00	211,694	0,670	830,00	201,226	0,624	58,00	197,918	0,718	844,00
217,886	0,702	68,00	212,364	0,640	48,00	201,850	0,624	122,00	198,636	0,639	63,00
218,588	0,687	439,00	213,004	0,655	766,00	202,474	0,608	864,00	199,275	0,609	73,00
219,275	0,671	849,00	213,659	0,655	234,00	203,082	0,640	844,00	199,884	0,639	835,00
219,946	0,671	810,00	214,314	0,718	537,00	203,722	0,827	73,00	200,523	0,609	840,00
220,617	0,639	63,00	215,032	0,702	859,00	204,549	0,670	820,00	201,132	0,639	39,00
221,256	0,702	761,00	215,734	0,671	43,00	205,219	0,671	78,00	201,771	0,624	205,00
221,958	0,671	864,00	216,405	0,639	864,00	205,890	0,609	39,00	202,395	0,593	830,00
222,629	0,671	87,00	217,044	0,671	48,00	206,499	0,686	859,00	202,988	0,764	48,00
223,300	0,671	92,00	217,715	0,702	835,00	207,185	0,640	786,00	203,752	0,578	78,00
223,971	0,748	776,00	218,417	0,640	48,00	207,825	0,670	48,00	204,330	0,670	810,00
224,719	0,687	835,00	219,057	0,639	781,00	208,495	0,624	449,00	205,000	0,578	29,00
225,406	0,671	840,00	219,696	0,671	244,00	209,119	0,687	869,00	205,578	0,686	68,00
226,077	0,655	68,00	220,367	0,687	752,00	209,806	0,671	820,00	206,264	0,577	820,00
226,732	0,671	224,00	221,054	0,670	698,00	210,477	0,873	58,00	206,841	0,811	327,00
227,403	0,748	776,00	221,724	0,671	630,00	211,350	0,640	854,00	207,652	0,734	39,00
228,151	0,687	776,00	222,395	0,702	800,00	211,990	0,640	78,00	208,386	0,624	58,00
228,838	0,733	854,00	223,097	0,718	112,00	212,630	0,764	48,00	209,010	0,608	849,00
229,571	0,702	78,00	223,815	0,873	854,00	213,394	0,608	200,00	209,618	0,624	126,00
230,273	0,577	771,00	224,688	0,671	53,00	214,002	0,671	844,00	210,242	0,608	14,00
230,850	0,671	859,00	225,359	0,702	371,00	214,673	0,640	869,00	210,850	0,656	800,00
231,521	0,702	107,00	226,061	0,655	854,00	215,313	0,671	175,00	211,506	0,670	844,00
232,223	0,686	83,00	226,716	0,671	48,00	215,984	0,624	58,00	212,176	0,671	141,00
232,909	0,734	800,00	227,387	0,671	864,00	216,608	0,655	214,00	212,847	0,655	53,00
233,643	0,748	835,00	228,058	0,702	39,00	217,263	0,671	87,00	213,502	0,640	820,00
234,391	0,702	840,00	228,760	0,718	859,00	217,934	0,780	830,00	214,142	0,655	761,00
235,093	0,702	522,00	229,478	0,702	39,00	218,714	0,655	844,00	214,797	0,624	34,00
235,795	0,656	68,00	230,180	0,733	835,00	219,369	0,655	840,00	215,421	0,656	122,00
236,451	0,670	742,00	230,913	1,107	512,00	220,024	0,671	78,00	216,077	0,624	840,00
237,121	0,671	854,00	232,020	0,609	39,00	220,695	0,671	156,00	216,701	0,624	58,00
237,792	0,671	92,00	232,629	0,671	825,00	221,366	0,670	825,00	217,325	0,639	688,00
238,463	0,640	117,00	233,300	0,670	73,00	222,036	0,687	830,00	217,964	0,609	844,00
239,103	0,702	825,00	233,970	0,640	796,00	222,723	0,655	840,00	218,573	0,639	39,00
239,805	0,702	849,00	234,610	0,671	214,00	223,378	0,655	835,00	219,212	0,640	73,00
240,507	0,670	825,00	235,281	0,717	483,00	224,033	0,687	43,00	219,852	0,608	815,00
241,177	0,671	63,00	235,998	0,671	854,00	224,720	0,686	34,00	220,460	0,655	717,00



GNV - 3000 rpm											
NGK			BOSCH			DELPHI			THOMSON		
Tensão	Mínimo	53,00	Tensão	Mínimo	43,00	Tensão	Mínimo	0,00	Tensão	Mínimo	0,00
	Máximo	888,00		Máximo	898,00		Máximo	893,00		Máximo	923,00
	Média	555,2		Média	541,87		Média	523,46		Média	546,86
Tempo de resposta	0,688	Tempo de resposta	0,680	Tempo de resposta	0,662	Tempo de resposta	0,653				
Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão	Tempos	T. resp.	Tensão
0,000	0,686	688,00	0,000	0,640	859,00	0,000	0,702	83,00	0,000	0,639	68,00
0,686	0,702	874,00	0,640	0,655	849,00	0,702	0,671	849,00	1,684	0,609	923,00
1,388	0,765	78,00	1,295	0,671	48,00	1,373	0,702	97,00	2,293	0,624	97,00
2,153	0,717	825,00	1,966	0,717	884,00	2,075	0,702	791,00	2,917	0,811	903,00
2,870	0,671	683,00	2,683	0,640	68,00	2,777	0,764	840,00	3,728	0,671	48,00
3,541	0,999	805,00	3,323	0,608	859,00	3,541	0,671	53,00	4,399	0,655	923,00
4,540	0,670	879,00	3,931	0,671	825,00	4,212	0,639	854,00	5,054	0,608	58,00
5,210	0,671	58,00	4,602	0,640	48,00	4,851	0,702	0,00	5,662	0,671	864,00
5,881	0,671	864,00	5,242	0,670	879,00	5,553	0,671	786,00	6,333	0,609	97,00
6,552	0,749	683,00	5,912	0,702	58,00	6,224	0,687	781,00	6,942	0,686	835,00
7,301	0,671	146,00	6,614	0,687	869,00	6,911	0,686	0,00	7,628	0,702	844,00
7,972	0,717	879,00	7,301	0,764	625,00	7,597	0,702	815,00	8,330	0,671	796,00
8,689	0,811	92,00	8,065	0,718	791,00	8,299	0,671	879,00	9,001	0,624	849,00
9,500	0,671	302,00	8,783	0,702	854,00	8,970	0,686	24,00	9,625	0,639	9,00
10,171	0,702	879,00	9,485	0,702	48,00	9,656	0,687	844,00	10,264	0,624	888,00
10,873	0,718	53,00	10,187	0,717	869,00	10,343	0,670	776,00	10,888	0,593	39,00
11,591	0,733	874,00	10,904	0,671	53,00	11,013	0,702	112,00	11,481	0,640	918,00
12,324	0,655	87,00	11,575	0,671	874,00	11,715	0,671	869,00	12,121	0,639	78,00
12,979	0,640	854,00	12,246	0,749	68,00	12,386	0,687	0,00	12,760	0,609	898,00
13,619	0,671	771,00	12,995	0,702	879,00	13,073	0,670	835,00	13,369	0,655	78,00
14,290	0,670	688,00	13,697	0,608	639,00	13,743	0,671	854,00	14,024	0,577	913,00
14,960	0,671	879,00	14,305	0,609	122,00	14,414	0,702	0,00	14,601	0,609	669,00
15,631	0,671	102,00	14,914	0,639	879,00	15,116	0,874	879,00	15,210	0,624	859,00
16,302	0,749	884,00	15,553	0,624	83,00	15,990	0,639	859,00	15,834	0,655	786,00
17,051	0,655	73,00	16,177	0,640	820,00	16,629	0,640	9,00	16,489	0,593	34,00
17,706	0,686	874,00	16,817	0,608	869,00	17,269	0,624	854,00	17,082	0,670	908,00
18,392	0,671	73,00	17,425	0,733	53,00	17,893	0,624	830,00	17,752	0,640	48,00
19,063	0,640	859,00	18,158	0,749	884,00	18,517	0,624	126,00	18,392	0,624	840,00
19,703	0,671	102,00	18,907	0,733	58,00	19,141	0,624	864,00	19,016	0,593	68,00
20,374	0,639	810,00	19,640	0,656	874,00	19,765	0,624	0,00	19,609	0,655	908,00
21,013	0,640	879,00	20,296	0,624	722,00	20,389	0,640	844,00	20,264	0,655	43,00
21,653	0,733	283,00	20,920	0,608	424,00	21,029	0,624	810,00	20,919	0,749	888,00
22,386	0,671	884,00	21,528	0,671	869,00	21,653	0,717	771,00	21,668	0,733	97,00
23,057	0,671	73,00	22,199	0,733	48,00	22,370	0,687	835,00	22,401	0,640	864,00
23,728	0,655	888,00	22,932	0,640	879,00	23,057	0,702	29,00	23,041	0,624	884,00
24,383	0,733	53,00	23,572	0,686	63,00	23,759	0,670	752,00	23,665	0,671	151,00
25,116	0,671	874,00	24,258	0,655	879,00	24,429	0,702	840,00	24,336	0,624	908,00
25,787	0,718	102,00	24,913	0,687	844,00	25,131	0,671	112,00	24,960	0,624	9,00
26,505	0,780	820,00	25,600	0,811	87,00	25,802	0,702	776,00	25,584	0,639	888,00
27,285	0,686	884,00	26,411	0,718	869,00	26,504	0,671	14,00	26,223	0,593	131,00
27,971	0,733	68,00	27,129	0,702	48,00	27,175	0,702	859,00	26,816	0,640	893,00
28,704	0,671	859,00	27,831	0,702	888,00	27,877	0,686	840,00	27,456	0,686	48,00
29,375	0,702	761,00	28,533	0,702	68,00	28,563	0,702	0,00	28,142	0,624	913,00
30,077	0,671	336,00	29,235	0,686	879,00	29,265	0,687	874,00	28,766	0,593	43,00
30,748	0,671	874,00	29,921	0,671	766,00	29,952	0,671	0,00	29,359	0,640	830,00
31,419	0,717	58,00	30,592	0,702	278,00	30,623	0,686	747,00	29,999	0,639	24,00
32,136	0,702	884,00	31,294	0,671	869,00	31,309	0,671	820,00	30,638	0,671	913,00
32,838	0,640	63,00	31,965	0,873	58,00	31,980	0,702	0,00	31,309	0,733	53,00
33,478	0,671	874,00	32,838	0,687	879,00	32,682	0,671	879,00	32,042	0,624	913,00
34,149	0,639	122,00	33,525	0,670	58,00	33,353	0,702	48,00	32,666	0,655	48,00
34,788	0,640	810,00	34,195	0,640	874,00	34,055	0,624	468,00	33,321	0,827	908,00
35,428	0,639	874,00	34,835	0,640	693,00	34,679	0,639	849,00	34,148	0,640	53,00
36,067	0,702	78,00	35,475	0,702	97,00	35,318	0,624	24,00	34,788	0,608	869,00
36,769	0,749	888,00	36,177	0,639	859,00	35,942	0,624	835,00	35,396	0,702	53,00
37,518	0,671	53,00	36,816	0,671	48,00	36,566	0,624	19,00	36,098	0,624	893,00
38,189	0,718	884,00	37,487	0,749	884,00	37,190	0,624	869,00	36,722	0,655	0,00
38,907	0,702	78,00	38,236	0,671	126,00	37,814	0,671	29,00	37,377	0,640	874,00
39,609	0,670	854,00	38,907	0,670	761,00	38,485	0,624	820,00	38,017	0,640	63,00
40,279	0,671	126,00	39,577	0,702	869,00	39,109	0,624	854,00	38,657	0,655	830,00
40,950	0,671	761,00	40,279	0,656	58,00	39,733	0,640	53,00	39,312	0,624	53,00
41,621	0,702	869,00	40,935	0,670	884,00	40,373	0,624	879,00	39,936	0,686	874,00
42,323	0,624	131,00	41,605	0,702	78,00	40,997	0,624	9,00	40,622	0,624	0,00
42,947	0,671	874,00	42,307	0,702	884,00	41,621	0,624	879,00	41,246	0,593	918,00
43,618	0,639	146,00	43,009	0,656	239,00	42,245	0,639	9,00	41,839	0,624	78,00







192,817	0,671	869,00	190,914	0,702	532,00	184,034	0,686	854,00	184,315	0,624	761,00
193,488	0,640	732,00	191,616	0,671	854,00	184,720	0,687	805,00	184,939	0,624	840,00
194,128	0,670	620,00	192,287	0,749	58,00	185,407	0,702	24,00	185,563	0,639	761,00
194,798	0,671	874,00	193,036	0,670	879,00	186,109	0,671	830,00	186,202	0,656	742,00
195,469	0,655	92,00	193,706	0,640	68,00	186,780	0,717	9,00	186,858	0,639	835,00
196,124	0,702	869,00	194,346	0,640	884,00	187,497	0,671	307,00	187,497	0,624	747,00
196,826	0,671	78,00	194,986	0,639	664,00	188,168	0,702	893,00	188,121	0,671	869,00
197,497	0,640	815,00	195,625	0,671	83,00	188,870	0,671	14,00	188,792	0,796	810,00
198,137	0,749	874,00	196,296	0,671	884,00	189,541	0,702	791,00	189,588	0,639	0,00
198,886	0,639	92,00	196,967	0,671	63,00	190,243	0,686	698,00	190,227	0,671	893,00
199,525	0,671	869,00	197,638	0,733	893,00	190,929	0,671	58,00	190,898	0,608	68,00
200,196	0,733	58,00	198,371	0,639	844,00	191,600	0,593	864,00	191,506	0,749	888,00
200,929	0,718	849,00	199,010	0,687	53,00	192,193	1,014	0,00	192,255	0,671	58,00
201,647	0,780	757,00	199,697	0,671	888,00	193,207	0,780	0,00	192,926	0,640	888,00
202,427	0,702	122,00	200,368	0,670	83,00	193,987	0,640	874,00	193,566	0,608	58,00
203,129	0,686	874,00	201,038	0,671	888,00	194,627	0,655	703,00	194,174	0,624	898,00
203,815	0,687	78,00	201,709	0,671	835,00	195,282	0,889	97,00	194,798	0,640	63,00
204,502	0,686	884,00	202,380	0,718	48,00	196,171	0,624	800,00	195,438	0,717	884,00
205,188	0,671	68,00	203,098	0,670	893,00	196,795	0,624	874,00	196,155	0,827	39,00
205,859	0,671	874,00	203,768	0,671	83,00	197,419	0,624	522,00	196,982	0,702	859,00
206,530	0,670	141,00	204,439	0,671	884,00	198,043	0,671	859,00	197,684	0,655	180,00
207,200	0,765	796,00	205,110	0,671	126,00	198,714	0,608	29,00	198,339	0,609	879,00
207,965	0,764	864,00	205,781	0,780	849,00	199,322	0,640	859,00	198,948	0,639	4,00
208,729	0,765	58,00	206,561	0,717	78,00	199,962	0,639	19,00	199,587	0,624	781,00
209,494	0,639	869,00	207,278	0,734	884,00	200,601	0,656	893,00	200,211	0,640	737,00
210,133	0,780	78,00	208,012	0,670	463,00	201,257	0,702	0,00	200,851	0,655	844,00
210,913	0,687	844,00	208,682	0,718	688,00	201,959	0,624	757,00	201,506	0,671	737,00
211,600	0,702	742,00	209,400	0,624	854,00	202,583	0,686	825,00	202,177	0,639	859,00
212,302	0,639	815,00	210,024	0,655	58,00	203,269	0,733	34,00	202,816	0,640	195,00
212,941	0,671	849,00	210,679	0,640	884,00	204,002	0,671	820,00	203,456	0,608	859,00
213,612	0,671	649,00	211,319	0,671	102,00	204,673	0,702	840,00	204,064	0,624	87,00
214,283	0,671	820,00	211,990	0,733	849,00	205,375	0,671	0,00	204,688	0,624	869,00
214,954	0,639	805,00	212,723	0,718	864,00	206,046	0,686	884,00	205,312	0,640	39,00
215,593	0,671	131,00	213,441	0,655	53,00	206,732	0,687	0,00	205,952	0,640	893,00
216,264	0,671	849,00	214,096	0,655	884,00	207,419	0,702	844,00	206,592	0,624	68,00
216,935	0,718	805,00	214,751	0,593	107,00	208,121	0,655	864,00	207,216	0,624	840,00
217,653	0,670	146,00	215,344	0,686	849,00	208,776	0,702	29,00	207,840	0,639	156,00
218,323	0,671	879,00	216,030	0,702	859,00	209,478	0,671	805,00	208,479	0,671	864,00
218,994	0,671	68,00	216,732	0,671	58,00	210,149	0,686	844,00	209,150	0,640	58,00
219,665	0,718	864,00	217,403	0,733	888,00	210,835	0,671	29,00	209,790	0,671	830,00
220,383	0,670	78,00	218,136	0,655	63,00	211,506	0,655	800,00	210,461	0,670	796,00
221,053	0,671	854,00	218,791	0,687	879,00	212,161	0,593	791,00	211,131	0,812	644,00
221,724	0,749	517,00	219,478	0,686	68,00	212,754	0,624	205,00	211,943	0,639	859,00
222,473	0,671	234,00	220,164	0,671	893,00	213,378	0,671	884,00	212,582	0,593	63,00
223,144	0,608	869,00	220,835	0,640	136,00	214,049	0,624	0,00	213,175	0,905	884,00
223,752	0,655	78,00	221,475	0,670	840,00	214,673	0,670	879,00	214,080	0,733	58,00
224,407	0,671	879,00	222,145	0,640	859,00	215,343	0,624	0,00	214,813	0,624	884,00
225,078	0,687	78,00	222,785	0,733	53,00	215,967	0,640	869,00	215,437	0,640	53,00
225,765	0,639	869,00	223,518	0,640	884,00	216,607	0,640	14,00	216,077	0,639	859,00
226,404	0,702	83,00	224,158	0,671	78,00	217,247	0,655	879,00	216,716	0,609	800,00
227,106	0,718	561,00	224,829	0,655	888,00	217,902	0,655	0,00	217,325	0,639	771,00
227,824	0,655	879,00	225,484	0,655	844,00	218,557	0,671	761,00	217,964	0,733	752,00
228,479	0,749	97,00	226,139	0,686	48,00	219,228	0,655	752,00	218,697	0,593	73,00
229,228	0,671	844,00	226,825	0,656	884,00	219,883	0,671	703,00	219,290	0,624	884,00
229,899	0,670	830,00	227,481	0,748	107,00	220,554	0,624	771,00	219,914	0,640	0,00
230,569	0,656	263,00	228,229	0,671	884,00	221,178	0,733	849,00	220,554	0,608	879,00
231,225	0,686	884,00	228,900	0,687	556,00	221,911	0,671	830,00	221,162	0,640	0,00
231,911	0,718	97,00	229,587	0,639	781,00	222,582	0,671	83,00	221,802	0,655	810,00
232,629	0,639	874,00	230,226	0,624	874,00	223,253	0,655	893,00	222,457	0,624	58,00
233,268	0,702	58,00	230,850	0,671	68,00	223,908	0,655	0,00	223,081	0,655	874,00
233,970	0,640	854,00	231,521	0,608	888,00	224,563	0,655	893,00	223,736	0,624	0,00
234,610	0,749	493,00	232,129	0,671	97,00	225,218	0,890	29,00	224,360	0,609	844,00
235,359	0,670	317,00	232,800	0,640	879,00	226,108	0,624	73,00	224,969	0,670	761,00
236,029	0,640	888,00	233,440	0,702	874,00	226,732	0,639	893,00	225,639	0,687	849,00