

LUIZ VICENTE FIGUEIRA DE MELLO FILHO

**INFLUÊNCIA DA ADULTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NO
DESEMPENHO E NA VIDA ÚTIL DE MOTORES DE COMBUSTÃO
INTERNA DE IGNIÇÃO POR FAÍSCA DE PEQUENO PORTE
UTILIZADOS EM MOTOCICLETAS**

**CONSULTA
FMP-163
Ed.rev.**

São Paulo

2009

OK

LUIZ VICENTE FIGUEIRA DE MELLO FILHO

**INFLUÊNCIA DA ADULTERAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS NO
DESEMPENHO E NA VIDA ÚTIL DE MOTORES DE COMBUSTÃO
INTERNA DE IGNIÇÃO POR FAÍSCA DE PEQUENO PORTE
UTILIZADOS EM MOTOCICLETAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

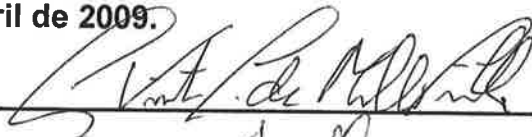
Orientador:
Prof. Dr. Maurício Assumpção Trielli

São Paulo
2009

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 02 de abril de 2009.

Assinatura do autor



Assinatura do orientador



FICHA CATALOGRÁFICA

Mello Filho, Luiz Vicente Figueira de
Influência da adulteração de combustíveis no desempenho
e na vida útil de motores de combustão interna de ignição por
faisca de pequeno porte utilizados em motocicletas / L.V.F. de
Mello Filho. -- ed.rev. -- São Paulo, 2009.

177 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Combustíveis líquidos 2. Adulteração 3. Solvente 4. Etanol
5. Motor I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar.

AGRADECIMENTOS

A minha noiva Kátia que sempre me apoiou nos estudos durante o trabalho.

Ao professor Maurício Assumpção Trielli, pela orientação e pelo constante estímulo e atenção ao longo de todo o trabalho.

A todos os colaboradores da Yamaha que diretamente e indiretamente me apoiaram, principalmente aqueles que permitiram e disponibilizaram os recursos humanos, materiais e financeiros, além de todo o tempo necessário na pesquisa, planejamento e execução do experimento. Sem essa oportunidade, o trabalho não teria sido concretizado.

A Chevron Brasil Ltda. pelas análises de óleo ao longo de todo o experimento.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

O conhecimento é um tesouro, mas a prática é a chave para ele.

(Thomas Fuller)

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo mostrar os efeitos do uso de gasolina adulterada em motores de pequena cilindrada em seus desempenhos e durabilidades. Para tanto, foram realizados ensaios comparativos em três motores carburados de aplicação em motocicletas, de mesmas séries. Estes motores consumiram gasolina C, padrão brasileiro de combustível para motores de ignição por faísca, e misturas desta gasolina com etanol hidratado carburante e solvente C-9. Os resultados mostram alterações de desempenho, nas concentrações de gases poluentes produzidos e nos níveis de deterioração.

Palavras-chave: Combustíveis Líquidos. Adulteração. Solvente. Etanol. Motor.

ABSTRACT

This work has as main aim to show the effects of the use of the out of specification fuels in performance and durability of the low volumetric displacement engines. So, it was carried out comparative tests in three similar engines, equipped with carburetors as fuel metering arrangement, applied in motorcycles. These engines worked with standard gasoline C, Brazilian reference fuel to spark ignition engines and blends containing hydrated ethanol and C-9 solvent. The results show changes in performance, in the pollutant gases concentration productions and deterioration levels.

Keywords: Liquid fuels. Adulteration. Solvent. Ethanol. Engine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Figura esquemática de duas superfícies em um movimento relativo abaixo das condições limites de lubrificação (HEYWOOD, 1988)	20
Figura 2 – Figura esquemática do guia da válvula, retentor e haste da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2001)	22
Figura 3 – Figura esquemática da distribuição de pressão no filme de óleo lubrificante no tempo de expansão, corte longitudinal (HEYWOOD, 1988)	22
Figura 4 – Figura esquemática da distribuição de pressão no filme de óleo lubrificante no virabrequim ao longo da rotação do motor (HEYWOOD, 1988)	23
Figura 5 – Respiro do cárter do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	45
Figura 6 – Filtro de ar (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	45
Figura 7 – Vista lateral direita do sistema de lubrificação do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	46
Figura 8 – Vista frontal do sistema de lubrificação do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	47
Figura 9 – Vista explodida do carburador (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	48
Figura 10 – Vedação das válvulas (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	49
Figura 11 – Medição da pressão de compressão do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	50
Figura 12 – Válvulas de admissão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	99
Figura 13 – Válvulas de escape do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	99
Figura 14 – Câmara de combustão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	100
Figura 15 – Vista superior do pistão motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	100
Figura 16 – Vista lateral do pistão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	101
Figura 17 – Outra vista lateral do pistão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	101
Figura 18 – Cilindro do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	101

Figura 19 – Cuba do carburador do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	102
Figura 20 – Vela de ignição do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita)	102
Figura A1 – Comprimento da mola da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	I
Figura A2 – Diâmetro interno do guia da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	I
Figura A3 – Dimensões do came do comando de válvulas (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	I
Figura A4 – Diâmetro externo do pino do balancim (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000). I	
Figura A5 – Diâmetro interno do cilindro (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).....	II
Figura A6 – Diâmetro do pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	II
Figura A7 – Diâmetro interno do pino do pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	II
Figura A8 – Folga dos anéis no pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).....	III
Figura A9 – Folga dos anéis no cilindro (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	III
Figura A10 – Folga entre a biela e o virabrequim (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)..	III
Figura A11 – Distância entre os contrapesos (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).....	III
Figura A12 – Folga da bomba trocoidal (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000)	IV
Figura A13 – Ajuste da bóia do carburador (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).....	IV

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Concentração de HC, CO e NO no escape de um motor convencional de ignição por faísca, sem pós-tratamento, em funcionamento com gasolina em função da relação ar-combustível (HEYWOOD, 1988)	10
Gráfico 2 – Concentrações de NO e NO ₂ no escapamento de um motor de ignição por centelha (HEYWOOD, 1988)	11
Gráfico 3 – Variação da emissão de CO com onze combustíveis em diferentes relações de ar-combustível (HEYWOOD, 1988)	15
Gráfico 4 – Classificação SAE dos óleos multi-viscosos em função da temperatura (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2007)	18
Gráfico 5 – Pacote típico de aditivos (BENFAREMO, 1991)	19
Gráfico 6 – Proporção de não conformidades apresentadas no período de janeiro de 2006 a novembro de 2008 (ANP, 2008)	29
Gráfico 7 – Boletim mensal de não conformidades apresentadas no período de janeiro de 2006 a novembro de 2008 (ANP, 2008)	30
Gráfico 8 – Efeito da concentração de oxigenados na pressão de vapor de misturas com gasolina (OWEN <i>et al.</i> , 1990)	33
Gráfico 9 – Tolerância de água na mistura de metanol e etanol com uma gasolina com 26% de aromático em volume e sem a presença de cossolvente (OWEN <i>et al.</i> , 1990)	34
Gráfico 10 – Tolerância de água numa mistura de metanol e etanol de 10% na gasolina, com diferentes quantidades de aromáticos (OWEN <i>et al.</i> , 1990).	35
Gráfico 11 – Efeito do cossolvente na tolerância de água na mistura de metanol e etanol com 26% de aromáticos na gasolina (OWEN <i>et al.</i> , 1990).....	35
Gráfico 12 – Influência dos oxigenados e aditivos na limpeza do sistema de admissão (OWEN <i>et al.</i> , 1990)	36
Gráfico 13 – Comparativo de curvas de destilação para gasolina formulada com solventes e Gasolina tipo “C” comum (ALMEIDA <i>et al.</i> , 2003)	41
Gráfico 14 – Normalização dos três motores	66
Gráfico 15 – Levantamento das curvas de potência e torque do motor 1	68
Gráfico 16 – Levantamento das curvas de potência e torque do motor 2	70
Gráfico 17 – Levantamento das curvas de potência e torque do motor 3	71
Gráfico 18 – Emissão dos gases de escape CO ₂ , HC e CO do motor 1	75

Gráfico 19 – Emissão dos gases de escape CO ₂ , HC e CO do motor 2	77
Gráfico 20 – Emissão dos gases de escape CO ₂ , HC e CO do motor 3	78
Gráfico 21 – Rendimento dos motores na potência máxima.....	90
Gráfico 22 – Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o primeiro ciclo	91
Gráfico 23 – Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o segundo ciclo	91
Gráfico 24 – Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o terceiro ciclo	92
Gráfico 25 – Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o primeiro ciclo	92
Gráfico 26 – Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o segundo ciclo	93
Gráfico 27 – Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o terceiro ciclo	93
Gráfico 28 – Número de basicidade total nos três motores durante o terceiro ciclo (mg KOH/g)	93
Gráfico 29 – Número de acidez total nos três motores durante o terceiro ciclo (mg KOH/g)	94
Gráfico 30 – Número em ppm de alumínio encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo	94
Gráfico 31 – Número em ppm de ferro encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo	95
Gráfico 32 – Número em ppm de cobre encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo	95
Gráfico 33 – Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o primeiro ciclo	95
Gráfico 34 – Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o segundo ciclo	96
Gráfico 35 – Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo	96
Gráfico 36 – Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o primeiro ciclo em Abs/ cm	96

Gráfico 37 – Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o segundo ciclo em Abs/ cm	97
Gráfico 38 – Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm	97
Gráfico 39 – Nitração do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm	97
Gráfico 40 – Presença de sulfatos do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação da Gasolina Comum tipo C. Portaria ANP n° 309 de 27/12/2001	27
Tabela 2 – Especificação do AEAC. Portaria ANP n° 36 de 06/12/2005	32
Tabela 3 – Especificação do AEHC. Portaria ANP n° 36 de 06/12/2005	37
Tabela 4 – Comparação da destilação e a octanagem da Gasolina C com alguns tipos de solventes (ANP, 1999).....	40
Tabela 5 – Curva de destilação do solvente AB9 (TAKESHITA, 2006).....	42
Tabela 6 – Amaciamento dos três motores com gasolina E25	54
Tabela 7 – Durabilidade dos três motores com os respectivos combustíveis.	55
Tabela 8 – Mistura dos combustíveis testados.....	61
Tabela 9 – Dados da cromatografia em fase gasosa da mistura C-9	62
Tabela 10 – Potência dos motores em porcentagem.....	63
Tabela 11 – Análise estatística do levantamento da curva de potência em % (usando a distribuição t de Student)	63
Tabela 12 – Torque dos motores em porcentagem	64
Tabela 13 – Análise estatística do levantamento da curva de torque em % (usando a distribuição t de Student)	64
Tabela 14 – Consumo específico de combustível dos motores em g/kW.h	65
Tabela 15 – Análise estatística do levantamento da curva do consumo específico de combustível em g/kW.h (usando a distribuição t de Student)	65
Tabela 16 – Folga de válvulas no amaciamento (mm).....	72
Tabela 17 – Folga de válvulas no primeiro ciclo durabilidade (mm).....	72
Tabela 18 – Folga de válvulas no segundo ciclo durabilidade (mm).....	73
Tabela 19 – Folga de válvulas no terceiro ciclo durabilidade (mm).....	73
Tabela 20 – Folga do eletrodo da vela de ignição (mm)	73
Tabela 21 – Compressão dos motores (kgf/cm ²)	73
Tabela 22 – Consumo de óleo dos motores após o primeiro ciclo em gramas e gramas por hora	74
Tabela 23 – Consumo de óleo dos motores após o segundo ciclo em gramas e gramas por hora	74
Tabela 24 – Consumo de óleo dos motores após o terceiro ciclo em gramas e gramas por hora	74

Tabela 25 – Valor λ do motor E25 na rotação de potência máxima	85
Tabela 26 – Valor λ do motor C-9 na rotação de potência máxima	85
Tabela 27 – Valor λ do motor E40 na rotação de potência máxima	85
Tabela 28 – Vazão em massa dos gases de escape do motor E25.....	86
Tabela 29 – Vazão em massa dos gases de escape do motor C-9	86
Tabela 30 – Vazão em massa dos gases de escape do motor E40.....	86
Tabela 31 – Vazão em massa dos gases HC, CO e CO ₂ do motor E25 a 8.500 rpm	87
Tabela 32 – Vazão em massa dos gases HC, CO e CO ₂ do motor C-9 a 8.500 rpm	87
Tabela 33 – Vazão em massa dos gases HC, CO e CO ₂ do motor E40 a 8.500 rpm	87
Tabela 34 – Emissão dos gases HC, CO e CO ₂ em g/km do motor E25	88
Tabela 35 – Emissão dos gases HC, CO e CO ₂ em g/km do motor C-9	88
Tabela 36 – Emissão dos gases HC, CO e CO ₂ em g/km do motor E40	88
Tabela 37 – Rendimento global do motor E25	89
Tabela 38 – Rendimento global do motor C-9	89
Tabela 39 – Rendimento global do motor E40	90
Tabela 40 – Massa das válvulas em gramas	103
Tabela 41 – Massa das bóias do carburador em gramas	103
Tabela 42 – Massa dos elastômeros do carburador em gramas após os testes de durabilidade	103
Tabela 43 – Valor inicial do diâmetro interno do cilindro (mm)	104
Tabela 44 – Valor final do diâmetro interno do cilindro (mm)	104
Tabela 45 – Conicidade do cilindro (mm)	104
Tabela 46 – Ovalização do cilindro (mm)	104
Tabela 47 – Diâmetro do pistão (mm)	104
Tabela 48 – Folga entre cilindro e pistão (mm)	105
Tabela 49 – Folga lateral dos anéis (mm)	105
Tabela 50 – Valor inicial da folga entre pontas dos anéis (mm)	105
Tabela 51 – Valor final da folga entre pontas dos anéis (mm)	105
Tabela 52 – Desgaste entre pontas dos anéis (mm)	105
Tabela 53 – Desgaste da bomba de óleo trocoidal (mm)	106
Tabela B1 – Comprimento livre da mola (mm)	V

Tabela B2 – Diâmetro interno do guia da válvula (mm)	V
Tabela B3 – Diâmetro da haste das válvulas (mm)	V
Tabela B4 – Folga entre a haste da válvula com o diâmetro interno do guia da válvula (mm)	VI
Tabela B5 – Came do eixo comando - parte com o ressalto (mm)	VI
Tabela B6 – Came do eixo comando - parte sem o ressalto (mm)	VI
Tabela B7 – Diâmetro interno do balancim (mm)	VI
Tabela B8 – Diâmetro externo do pino do balancim (mm)	VI
Tabela B9 – Folga entre o pino e o balancim (mm)	VI
Tabela B10 – Diâmetro do pino do pistão (mm)	VI
Tabela B11 – Diâmetro interno do alojamento do pino do pistão (mm)	VI
Tabela B12 – Folga entre o pistão e o pino do pistão (mm)	VII
Tabela B13 – Alinhamento do virabrequim (mm)	VII
Tabela B14 – Folga lateral da biela com o virabrequim (mm)	VII
Tabela B15 – Largura do virabrequim (mm)	VII
Tabela C1 – Amaciamento do motor 1 utilizando o combustível E25	VIII
Tabela C2 – Amaciamento do motor 2 utilizando o combustível E25	IX
Tabela C3 – Amaciamento do motor 3 utilizando o combustível E25	X
Tabela C4 – Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (1º ciclo)	XI
Tabela C5 – Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (2º ciclo)	XII
Tabela C6 – Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (3º ciclo)	XIII
Tabela C7 – Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (1º ciclo)	XIV
Tabela C8 – Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (2º ciclo)	XV
Tabela C9 – Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (3º ciclo)	XVI
Tabela C10 – Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (1º ciclo).....	XVII
Tabela C11 – Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (2º ciclo)	XVIII
Tabela C12 – Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (3º ciclo)	XIX
Tabela D1 – Concentrações de CO dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento	XX
Tabela D2 – Concentrações de CO ₂ dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento	XXI
Tabela D3 – Concentrações de HC dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento	XXII

Tabela D4 – Potência do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXIII
Tabela D5 – Potência do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXIV
Tabela D6 – Potência do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XXV
Tabela D7 – Torque do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXVI
Tabela D8 – Torque do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXVII
Tabela D9 – Torque do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XXVIII
Tabela D10 – Consumo específico de combustível do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXIX
Tabela D11 – Consumo específico de combustível do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXX
Tabela D12 – Consumo específico de combustível do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XXXI
Tabela D13 – Concentrações de CO do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXXII
Tabela D14 – Concentrações de CO do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXXIII
Tabela D15 – Concentrações de CO do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XXXIV
Tabela D16 – Concentrações de CO ₂ do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXXV
Tabela D17 – Concentrações de CO ₂ do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXXVI
Tabela D18 – Concentrações de CO ₂ do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XXXVII
Tabela D19 – Concentrações de HC do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade	XXXVIII
Tabela D20 – Concentrações de HC do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade	XXXIX

Tabela D21 – Concentrações de HC do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade	XL
Tabela A1 – Análise do óleo lubrificante após o amaciamento	XLI
Tabela A2 – Análise do óleo lubrificante após o primeiro ciclo	XLII
Tabela A3 – Análise do óleo lubrificante após o segundo ciclo	XLIII
Tabela A4 – Análise do óleo lubrificante após o terceiro ciclo	XLIV

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEA	Associação de Engenharia Automotiva
AEAC	Álcool Etílico Anidro Carburante
AEHC	Álcool Etílico Hidratado Carburante
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CC	Centímetros Cúbicos
IAD	Índice Antidetonante
IPT-SP	Instituto de Pesquisa Tecnológica – São Paulo
JASO	Japanese Automobile Standards Organization
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MON	Motor Octane Number
NDIR	Non-Dispersive Infrared Detector
PCI	Poder Calorífico Inferior
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
RON	Research Octane Number
RPM	Rotações Por Minuto
SAE	Society Automotive Engineering
SOHC	Single Overhead Camshaft
TAN	Número de Acidez Total
TBN	Número de Basicidade Total
UNICA	União da Agroindústria Canavieira de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

V	velocidade
p	perímetro do pneu
I ₂	relação total de engrenamento para segunda marcha
I ₃	relação total de engrenamento para terceira marcha
I ₄	relação total de engrenamento para quarta marcha
I ₅	relação total de engrenamento para quinta marcha
N	rotação do motor
D	distância percorrida
t	intervalo de tempo
\bar{X}	média aritmética
n	número de amostras
x	valor medido
σ	desvio padrão
x _i	valor medido
E	incerteza
$t_{\alpha/2}$	valor obtido para a distribuição t de Student com grau de liberdade (n – 1) e grau de confiança de 95%.
μ	intervalo de confiança
$\bar{\rho}$	massa específica
n'	quantidade de água calculada no AEAC
X	massa total do combustível
n''	quantidade de água calculada no AEHC
λ	relação ar-combustível
F _{EST}	relação combustível-ar teórica
F _{OBS}	relação combustível-ar observada
\dot{m}_{esc}	vazão em massa total dos gases de escape
\dot{m}_c	vazão em massa do combustível
\dot{m}_{ar}	vazão em massa do ar
η_g	rendimento global
C _e	consumo específico de combustível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	4
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	8
1.3 OBJETIVOS	8
1.3.1 Objetivo Geral.....	8
1.3.2 Objetivo Específico	9
1.4 JUSTIFICATIVA	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 EMISSÃO DOS GASES POLUENTES	10
2.1.1 Emissão de NO _x e SO _x	11
2.1.2 Emissão de HC	12
2.1.3 Emissão de Aldeídos	14
2.1.4 Emissão de CO e CO ₂	14
2.1.5 Inspeção veicular	16
2.2 ÓLEO LUBRIFICANTE	16
2.2.1 Categorias do óleo lubrificante	18
2.2.2 Aditivos do óleo lubrificante	19
2.2.3 Contaminantes do óleo lubrificante.....	21
2.2.4 Consumo do óleo lubrificante	22
2.3 GASOLINA	23
2.3.1 A Avaliação da Gasolina C	24
2.3.2 Os aditivos na Gasolina C	28
2.3.3 A análise da Gasolina C pela ANP	28
2.4 ÁLCOOL ETÍLICO COMBUSTÍVEL.....	31
2.4.1 Álcool etílico anidro carburante (AEAC).....	31
2.4.2 Álcool etílico hidratado carburante (AEHC).....	36
2.5 SOLVENTES	38
2.5.1 Os solventes na Gasolina C	39
2.5.2 O Solvente C-9	41

2.5.3 O marcador no solvente.....	42
2.6.4 Aplicação dos solventes no mercado nacional.....	42

3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....44

3.1 SELEÇÃO DOS MOTORES	44
3.2 PARÂMETROS DOS MOTORES DE 125cc UTILIZADO NO TRABALHO	44
3.3 VERIFICAÇÕES NA MONTAGEM DOS MOTORES	49
3.4 DEFINIÇÃO DA MISTURA GASOLINA C COM AEHC	50
3.5 DEFINIÇÃO DA MISTURA GASOLINA C E O SOLVENTE C-9	51
3.6 PROCEDIMENTO PARA A MISTURA DOS COMBUSTÍVEIS	51
3.7 ENSAIOS NO DINAMÔMETRO DE BANCADA	52
3.8 ACOMPANHAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE	55
3.9 PROCEDIMENTO PARA A COLETA DO ÓLEO LUBRIFICANTE.....	57
3.10 LEVANTAMENTO DA CURVA DE POTÊNCIA E TORQUE, CONSUMO E EMISSÃO DE POLUENTES.....	57
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA USANDO A DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT	58
3.12 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DA CURVA DE POTÊNCIA E TORQUE, CONSUMO ESPECÍFICO E EMISSÃO DE GASES POLUENTES	59

4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE61

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DAS MISTURAS REALIZADAS.....	61
4.2 AMACIAMENTO DOS MOTORES	62
4.3 NORMALIZAÇÃO DOS MOTORES	63
4.4 DURABILIDADE DOS MOTORES	67
4.4.1 Análise do motor 1 abastecido com Gasolina C (E25)	67
4.4.2 Análise do motor 2 abastecido com gasolina adulterada (C-9)	69
4.4.3 Análise do motor 3 abastecidos com gasolina adulterada (E40).....	70
4.5 MEDIÇÕES NAS REVISÕES PERIÓDICAS	72
4.6 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE POLUENTES	74
4.6.1 Análise do motor 1 abastecido com Gasolina C (E25)	74
4.6.2 Análise do motor 2 abastecido com gasolina adulterada (C-9)	76
4.6.3 Análise do motor 3 abastecido com gasolina adulterada (E40)	78
4.7 RELAÇÕES ESTEQUIOMÉTRICAS	79
4.7.1 Reação estequiométrica do E25.....	79

4.7.2	Reação estequiométrica do C-9.....	81
4.7.3	Reação estequiométrica do E40	83
4.7.4	Emissões de poluentes na potência máxima	85
4.8	RENDIMENTO DOS MOTORES	88
4.9	ANÁLISE DO ÓLEO LUBRIFICANTE	90
4.9.1	Viscosidade do óleo lubrificante.....	90
4.9.2	Índice de viscosidade do óleo lubrificante.....	92
4.9.3	Número de basicidade e acidez total	93
4.9.4	Concentrações de metais nos óleos lubrificantes usados.....	94
4.9.5	Concentração de silício no óleo lubrificante usado	95
4.9.6	Oxidação, nitração e presença de sulfatos do óleo lubrificante	96
4.10	ANÁLISE VISUAL DAS PRINCIPAIS PEÇAS	98
4.11	MEDIÇÕES FÍSICAS DOS MOTORES	102
5.	CONCLUSÕES	107
6.	REFERÊNCIAS	110
7.	APÊNDICE	I
7.1	APÊNDICE A – Procedimento para a medição das principais peças.....	I
7.2	APÊNDICE B – Medições físicas dos motores	V
7.3	APÊNDICE C – Tabelas do amaciamento e da durabilidade dos motores	VIII
7.4	APÊNDICE D – Tabelas dos levantamentos das curvas de potência e torque, consumo específico e emissões	XX
8.	ANEXO	XLI
8.1	ANEXO A – Acompanhamento dos óleos lubrificantes analisados	XLI

1. Introdução

1.1 Apresentação do Tema

No Brasil, o refino do petróleo é fundamentalmente realizado pela Petrobras. Porém, a distribuição de combustíveis, ao longo dos últimos anos, sofreu mudanças significativas. Até o final da década de 1980, a distribuição de combustível vigorou em ambiente estritamente regulamentado, com postos de venda atrelados a contratos de concessão realizados junto a um pequeno número de distribuidoras. Entretanto, em 1993, o governo federal autorizou o funcionamento dos chamados postos de "bandeira branca" com o intuito de eliminar seu vínculo com a distribuidora, buscando criar melhores condições para o exercício da livre concorrência. Também nessa ocasião, houve mudanças nas regras para a criação de distribuidoras, o que permitiu que centenas de novas empresas entrassem no mercado de combustíveis.

Dessa forma, na segunda metade da década de 1990, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), órgão setorial controlador da comercialização de combustíveis no Brasil, redefiniu as relações entre formuladores, distribuidoras, transportadoras e revendedores.

Entretanto, o que deveria alavancar a competição, facilitou a prática de adulteração de combustíveis. Dois fatores estimularam essa prática no mercado: o primeiro foi a carga tributária aplicada aos combustíveis que permitiu incidir 51,7% de impostos sobre os custos de alguns deles; a segunda foi a possibilidade de formulação do produto pelas distribuidoras. Com o objetivo de reduzir custos, alguns formuladores passaram a utilizar, alternativa e indevidamente, substâncias isentas ou com baixas tributações na sua formulação. As dificuldades de identificação, pelo consumidor e pelos órgãos de monitoramento e fiscalização, de desvios nas características físico-químicas especificadas para o combustível facilitaram o uso dessas alternativas.

Em estudo realizado por Dutra (2004), a origem de ganhos ilícitos na comercialização de combustíveis é decorrente basicamente em dois pontos: o descaminho dos produtos e a adulteração da qualidade. No estudo proposto, levou-se em consideração o segundo ponto. A adulteração é a mistura de qualquer substância diferente ou acima das especificações permitidas, originadas por um produto de qualidade inferior. A adulteração pode ser devida tanto à adição de água, aguarrás e sucedâneos (como alguns tipos de solventes) à gasolina. Durante as fiscalizações, é

constatado que as adições de álcool e solventes são as práticas mais comuns na adulteração da gasolina. Isso pode ser comprovado acessando os relatórios mensais divulgados pela ANP, onde são disponibilizadas informações sobre o uso de teor de álcool anidro ou hidratado acima do permitido e não conformidades nas curvas de destilação bem como índices de detonação abaixo dos valores mínimos da especificação.

Conforme Rolli (2005), as distribuidoras aprimoraram a mistura de solventes de tal forma que o produto adulterado se confunde com a gasolina. Porém, os sintomas acarretados com o consumo de combustíveis adulterados no motor são somente perceptíveis pelo consumidor depois de percorrer vários quilômetros. Além disso, os solventes são considerados *commodities*, cujo menor preço, via de regra, é o fator decisivo para ser utilizado na adulteração (ANP, 1999).

Ainda segundo Dutra (2004) da ANP, a adição de 30% de álcool etílico anidro carburante, contra os 25% especificados na maior parte de um ano, gera uma redução percentual no preço final de 3,3%; a adição de 30% de solvente à gasolina, gera uma redução percentual de 16,8% nesse mesmo preço final.

As margens de lucro em levantamento realizado no ano de 2003, de acordo com a ANP, oscilam em torno de 5% a 15%. A adição de 30% de álcool etílico anidro carburante aumenta consideravelmente essa margem de lucro, quer do revendedor, quer do distribuidor.

No que tange às empresas montadoras, os sintomas de mau funcionamento dos motores que utilizam combustíveis adulterados surgem ao longo da utilização e o descontentamento do consumidor acaba ficando, muitas vezes, associado a um menor desempenho e uma menor vida útil do veículo.

O consumo elevado de combustível pode ser o primeiro sintoma e, conseqüentemente, a primeira reclamação do consumidor. O descontentamento com o produto pode aumentar, por exemplo, após um engripamento de válvulas do motor, decorrente de excesso de goma formado pelo uso de combustível adulterado. Para um veículo ainda dentro do período de garantia, quem custeia soluções de problemas dessas naturezas é a conta de garantia do fabricante. Algumas reclamações são levadas para o Procon, Juizado de Pequenas Causas e Justiça Comum.

Entretanto, em geral, os reparos necessários são custeados pelo proprietário, que na maioria das vezes o utiliza na sua atividade profissional. A imagem da marca do fabricante e do veículo fica prejudicada e diminui a chance de uma recompra.

No caso específico de fabricantes de motocicletas esses aspectos se agravam. O grau de instrução do público alvo e a renda mensal desses consumidores incentiva-os a procurarem postos de combustível com preços mais baixos. Segundo pesquisa apresentada por fabricante, ficou identificado que o público alvo de motocicletas de 125cc (centímetros cúbicos) de cilindrada total adquire o bem por financiamento e consórcio em prazos de sessenta meses em 90% dos casos. A faixa salarial desse consumidor está entre R\$ 1.000,00 (um mil reais) à R\$ 2.000,00 (dois mil reais).

Conforme Alvarez (2006), durante o Seminário promovido pela Associação de Engenharia Automotiva (AEA) em julho de 2006, estudos para aumentar a robustez das peças afetadas pelo combustível de má qualidade já vêm sendo realizados. O objetivo é amenizar os efeitos causados por essa adulteração no funcionamento dos motores de quatro tempos.

Além disso, há dificuldades de se implementar um selo de qualidade para a gasolina devido ao grande volume comercializado desse combustível. Segundo Simionatto (2006), 30.000 litros de gasolina em um posto médio têm um consumo em torno de três a quatro dias, e no caso do uso de um selo, cada produto deve ser analisado. Só no estado de Santa Catarina há cerca de 1.500 postos, o que torna impossível a análise de toda a gasolina consumida.

O tema combustível adulterado nos manuais do proprietário dos fabricantes de veículos é tratado de forma a expor seus efeitos diretamente na durabilidade do motor, entretanto, alguns se omitem. Das quatro maiores montadoras no Brasil de veículos de quatro rodas, que representam mais de 70% nas vendas no mercado interno, somente a Volkswagen e a Ford incluem em seus manuais os problemas e os cuidados que os consumidores devem tomar no momento de abastecer o veículo. Por outro lado, a General Motors e a Fiat preferem não fazer comentários sobre combustíveis adulterados nos manuais analisados, informando apenas que o combustível deve estar de acordo com as especificações.

Por exemplo, em folha avulsa dos manuais de proprietário dos veículos Ford inclui o seguinte texto:

Atenção! A utilização de combustível adulterado, contaminado ou de má qualidade, danifica componentes do motor. Reparos decorrentes desta condição não são cobertos em garantia. Para maiores informações consulte o

capítulo combustível e lubrificante. (PUBLICAÇÃO FORD, 2006, p. avulsa)

Em seguida, no capítulo 12 do mesmo manual, são mencionados sintomas e efeitos do uso de combustível de qualidade inferior, adulterado ou contaminado, relacionados abaixo:

- Ruído anormal do motor;
- Falha do motor em aceleração;
- Perda de potência do motor;
- Vazamento de óleo pela caixa do filtro de ar;
- Consumo elevado de combustível;
- Consumo excessivo de óleo do motor;
- Emissão excessiva de fumaça pelo escapamento, dentre outros problemas.

De acordo com o manual de instruções, no capítulo abastecimento (PUBLICAÇÃO VOLKSWAGEN, 2006), um parágrafo em negrito deixa bem clara a responsabilidade que os consumidores têm em procurar um posto de combustível idôneo no momento do abastecimento. O parágrafo diz o seguinte:

Considerando-se que é praticamente impossível a fiscalização de todos os postos de combustível, recomendamos que o veículo seja abastecido em postos das redes de distribuidores de combustível, que tenham programas transparentes, para a certificação da qualidade do produto ofertado. (PUBLICAÇÃO VOLKSWAGEN, 2006, p.2-67)

Além disso, complementam dizendo que os concessionários já estão informados sobre problemas no motor decorrentes do uso de combustíveis adulterados.

Nos manuais do proprietário de motocicletas, as recomendações com relação ao combustível seguem as orientações dos veículos de quatro rodas. Os fabricantes Honda e Yamaha, que representam mais de 80% nas vendas de motocicletas no território brasileiro, incluem as recomendações e os cuidados no momento do abastecimento.

No período de 14 de fevereiro a 04 de abril de 2007, no mesmo caderno semanal do Jornal do Carro (Jornal da Tarde, Seção Defenda-se) da cidade de São Paulo, constavam sete reclamações com imagens de consumidores e seus respectivos veículos dentro do período de vigência da garantia; as respostas dadas pelos fabricantes para problemas atribuíam como causas o uso de combustíveis adulterados. Dos sete casos apresentados, cinco são de fabricantes distintos e de diferentes segmentos de veículos, porém a insatisfação dos consumidores é a mesma.

Conforme Dias *et al* (2007), a lei Penal do artigo 1.º, inciso I, da Lei n.º 8.176/1991, que trata o crime de adulteração de combustíveis, na verdade, revela que a conduta de adulterar combustíveis não é criminalizada, mas sim, e exclusivamente, as condutas de adquirir, distribuir e revender.

O trabalho científico proposto estuda os efeitos das duas maneiras mais comuns de adulteração da gasolina em motores de pequena cilindrada. Para que o experimento venha a comprovar os danos causados ao motor pelo uso desses combustíveis adulterados, ao longo de seu planejamento e execução levou em conta o grau de confiabilidade e de reprodução do experimento, em seqüência padronizada em etapas, em conformidade com os princípios estabelecidos por Jung (2004).

1.2 Problema de Pesquisa

Como as gasolinas adulteradas com a adição de álcool etílico hidratado carburante (AEHC) e/ ou solventes afetam o funcionamento dos motores de baixa cilindrada?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar como os combustíveis adulterados afetam o funcionamento de motores de ignição por faísca de baixa cilindrada, buscando identificar os componentes do motor mais prejudicados em função do consumo constante desse tipo de combustível, bem como afetam suas emissões.

1.3.2 Objetivos Específicos

A análise segue os seguintes passos:

1-Identificar os adulterantes comumente utilizados na comercialização ilegal, sem a percepção imediata do consumidor, tomando como referência os relatórios emitidos pela ANP, conforme Boletim Mensal da Qualidade dos Combustíveis Automotivos Brasileiros e Conjuntura e Informação.

2 – Escolher duas adulterações mais importantes como objeto de estudo. Foram escolhidas duas misturas compostas por Gasolina C, uma com adição de solvente C-9 e outra com adição de AEHC em excesso.

3 – Definir ensaios comparativos de desempenho, emissões e durabilidade em três motores de 125cc (centímetros cúbicos), de mesma especificação técnica.

4 – Realizar ensaios comparativos de desempenho, emissões de poluentes e durabilidade.

1.4 Justificativa

O procedimento proposto tem grande potencial para fornecimento de informações relevantes sobre os efeitos do uso de combustíveis adulterados em motores de ignição por faísca de baixa cilindrada.

2. Revisão de Literatura

2.1 Emissões dos gases poluentes

Os gases poluentes emitidos por motores de combustão interna de ignição por faísca podem ser gerados de duas maneiras: pela emissão de gases pelo escapamento ou pela evaporação de combustível.

Os principais gases poluentes decorrentes da combustão da gasolina são os óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x) e aldeídos.

A emissão dos poluentes está diretamente relacionada com a relação combustível-ar utilizada pelo motor. Dessa maneira, as emissões de HC, NO_x e CO variam qualitativamente com a riqueza da mistura, num motor de ignição por faísca convencional (sem sistemas de pós-tratamento de gases) como mostra a Gráfico 1, a seguir.

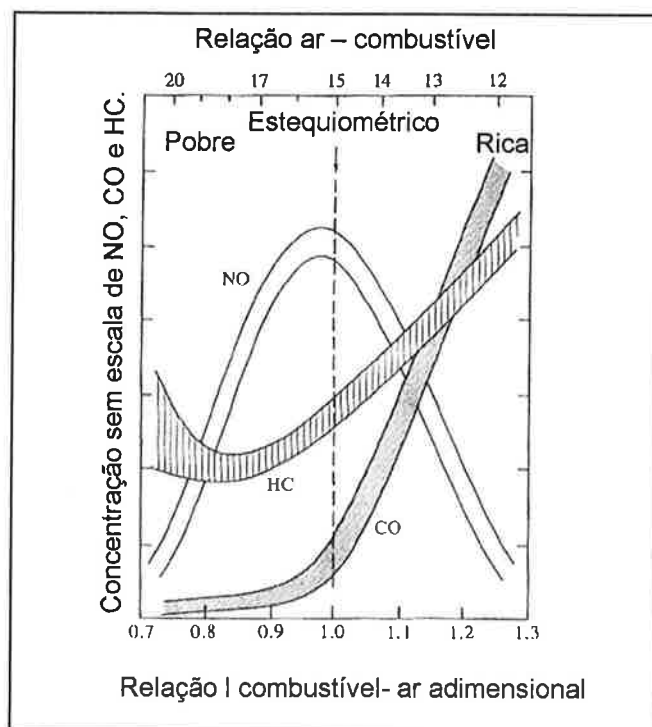


Gráfico 1: Concentração de HC, CO e NO no escape de um motor convencional de ignição por faísca, sem pós-tratamento, em funcionamento com gasolina em função da relação ar-combustível (HEYWOOD, 1988).

2.1.1 Emissão de NO_x e SO_x

Óxidos de nitrogênio e enxofre são gerados por reações do nitrogênio (contido no ar ou combustível) e do enxofre (contido no combustível) com o oxigênio (do ar ou do combustível) dentro da câmara de combustão. Os processos de reação e a formação na combustão estão profundamente interligados (HEYWOOD, 1988).

Temperaturas mais altas observadas durante a combustão aumentam a formação de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2), comumente agrupados como NO_x , porém o NO é encontrado em maior proporção que NO_2 nos escapamentos dos motores conforme o Gráfico 2.

A formação de NO_2 pela reação do NO com O_2 , é de cerca de dois por cento da formação do NO para um motor por centelha a 1500 rpm (rotações por minuto) e acelerador totalmente aberto (HEYWOOD, 1988), por exemplo.

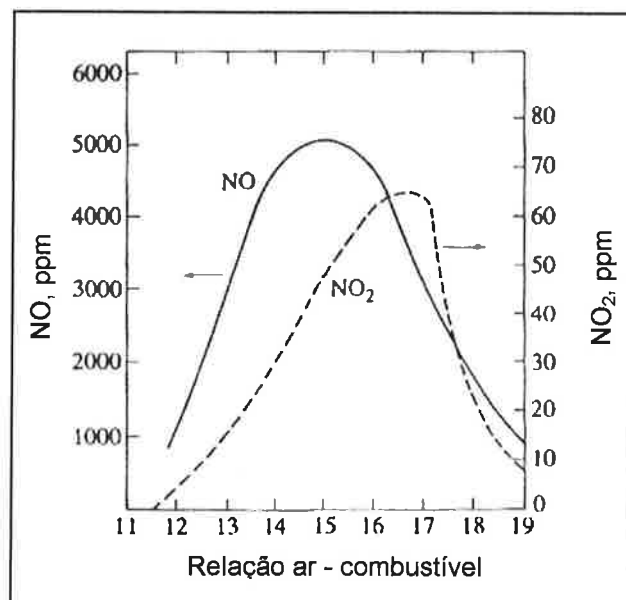


Gráfico 2: Concentrações de NO e NO_2 no escapamento de um motor de ignição por centelha (HEYWOOD, 1988).

As produções de NO_x tendem a aumentar para os motores de ignição por centelha abastecidos com a mistura oxigenada de combustível. Por exemplo, a mistura E25 (25% de etanol) aumenta a emissão de NO_x na gasolina. No combustível E100, o valor de NO_x é ainda maior devido à ocorrência de maiores temperaturas na câmara de combustão e maior consumo de combustível decorrente do menor poder calorífico do álcool etílico relativamente à gasolina.

Outro fator que influi consideravelmente ao aumento de NO_x é o instante de ignição. Na medida em que a ignição ocorre de forma mais antecipada no que diz respeito ao instante em que o pistão alcança o ponto morto superior (PMS) onde o volume do cilindro é menor, há maior razão de elevação de pressão observada no tempo de compressão. Conseqüentemente, observar-se-á maiores temperaturas instantâneas no cilindro com aumento na formação de NO_x . (HEYWOOD, 1988).

A produção de NO_2 é menor que NO , porém é bastante mais prejudicial à saúde humana. O NO_2 afeta o sistema respiratório em exposição a curto e longo prazo, que inclui alteração na função pulmonar e aumento na predisposição de doenças respiratórias. Além disso, o NO_2 é responsável pelo aumento do ozônio na atmosfera (POULTON, 1994) por ocasião de sua decomposição fotoquímica.

Diferente do nitrogênio presente na atmosfera na formação dos NO_x , a quantidade de SO_x formada na reação de combustão está relacionada com a quantidade de enxofre presente na gasolina. A adição de etanol na composição da gasolina, reduz o teor de enxofre do combustível resultante.

O enxofre é oxidado produzindo SO_2 . Entretanto, algumas frações podem ser oxidadas em SO_3 , que combinado com a água, forma o ácido sulfúrico (HEYWOOD, 1988).

Na medida em que o teor de enxofre se reduz nos combustíveis, reduz-se, também, o potencial de produção de material particulado.

Combustíveis com alto teor de enxofre, principalmente o óleo diesel e a gasolina, são os principais causadores das chuvas ácidas nos grandes centros.

2.1.2 Emissão de HC

A emissão de hidrocarbonetos para o meio ambiente deve-se principalmente à combustão incompleta ou parcial do combustível, da evaporação no tanque de combustível, após desligar o motor e pelo efeito de *blow by*, momento em que parte dos gases queimados passa entre os anéis do pistão e cilindro e voltam para o filtro de ar para serem novamente queimados pelo motor e possivelmente para a atmosfera.

A presença de HC nos gases de escapamento deve-se fundamentalmente aos seguintes fenômenos observados num motor em funcionamento: após a combustão, parte do HC não queimado concentra-se em pequenas fissuras no cilindro no processo de expansão e exaustão; uma fina camada contendo a mistura ar-

combustível queimada ou parcialmente queimada fica na parede do cilindro após o término da propagação da frente de chama.

O HC não queimado em camadas com espessuras menores que 0,1 milímetros podem ser posteriormente queimados rapidamente quando as paredes da câmara estão limpas; depósitos porosos no cilindro do motor aumentam a emissão de HC. Nesse caso trata-se da oxidação do HC, que logo após o término da propagação da frente de chama, tem sua difusão promovida no cilindro (HEYWOOD, 1988).

O fino filme de óleo deixado na parede do cilindro, pistão e câmara de combustão pelo sistema de lubrificação aumenta a emissão do HC não queimado. Esse filme pode absorver ou soltar componentes dos hidrocarbonetos da gasolina, antes e depois da combustão.

Uma outra maneira de concentrar HC no escapamento deve-se à combustão incompleta que ocorre em condições de funcionamento do motor onde a combustão é especialmente lenta. Esse efeito ocorre em condições de funcionamento do motor em marcha-lenta ou quando ele está se acelerando ou se desacelerando (HEYWOOD, 1988).

Os hidrocarbonetos são formados por cadeias de carbono e hidrogênio de modo que a sua estrutura química, isto é, uma cadeia fechada ou aberta, influi diretamente na qualidade do combustível e conseqüentemente nas emissões e desempenho do motor (OWEN *et al.*, 1990).

A composição do combustível pode influenciar significativamente a composição e a magnitude da emissão de orgânicos. Os combustíveis que contêm altas proporções de aromáticos e olefinas produzem relativamente maior concentração de hidrocarbonetos reativos. Entretanto, muitos compostos orgânicos encontrados na exaustão não estão presentes no combustível, indicando que significativas reações de pirólise e de síntese ocorrem durante o processo de combustão (HEYWOOD, 1988).

Aproximadamente são encontrados 400 compostos orgânicos individuais na exaustão do veículo (POULTON, 1994; BALL *et al.*, 1991; GRAEDEL *et al.*, 1986). Desses compostos orgânicos, os voláteis altamente reativos (VOCs) têm um curto período de vida que contribuem substancialmente na reação fotoquímica atmosférica e conseqüentemente na formação de ozônio, peroxiacetis, nitratos e outros oxidantes. Os compostos orgânicos voláteis de longa vida são menos reativos e dispersos nas áreas urbanas e decompostos vagarosamente. Alguns compostos orgânicos voláteis são altamente tóxicos, sendo parte deles cancerígenos.

2.1.3 Emissão de Aldeídos

Os aldeídos são formados pela combustão incompleta dos motores de combustão interna que utilizam a gasolina, o diesel, o metanol, o etanol, o propano, o metano como combustível ou combinações deles.

Os aldeídos presentes nos gases de escapamento em maiores quantidades são o acetaldeído e o formaldeído. O acetaldeído é o aldeído primário na exaustão dos gases de escape para o combustível etanol enquanto que o formaldeído é o aldeído primário para o metanol. Na atmosfera os aldeídos estão entre os mais reativos contribuintes para a formação de ozônio.

Tanto o formaldeído quanto o acetaldeído são tóxicos e possivelmente cancerígenos. Ambos são nomeados no 1990 *US Clean Air Act Amendments* (CAAA) como poluentes do ar tóxicos a serem controlados (POULTON, 1994).

O acetaldeído encontrado na queima do etanol é um veneno se ingerido e irritante se inalado ou em contato com a pele; o formaldeído é caracterizado como um veneno tanto por meio de ingestão quanto por inalação e contato com a pele. Dessa maneira, o formaldeído é mais nocivo que o acetaldeído e, conseqüentemente, o metanol em relação ao etanol, apesar da queima do etanol também produzir formaldeído.

No Brasil não há restrição na emissão de aldeídos na homologação de veículos e controle da frota para os abastecidos com o combustível conhecido como gasolina C (25% de álcool etílico anidro carburante – AEAC). Os controles são os mesmos encontrados na Comunidade Européia e Estados Unidos, porém o mercado brasileiro é o maior consumidor mundial de etanol em veículos que utilizam esse combustível misturado à gasolina, e na comercialização de álcool etílico hidratado carburante (AEHC).

A redução na emissão dos aldeídos pode ser feita com a utilização dos catalisadores de três vias com o controle *closed-loop* e recirculação dos gases de escape (EGR – *Exhaust Gas Recirculation*).

2.1.4 Emissão de CO e CO₂

A emissão do monóxido de carbono (CO) também está associada à relação de equivalência da mistura ar-combustível nos motores de combustão interna. Se a

mistura for rica, isto é, se a proporção em massa de combustível misturada ao ar é maior que aquela que gera uma combustão estequiométrica, a concentração de CO aumenta nos gases de escape; se a mistura for pobre, a concentração de CO se reduz. O Gráfico 3 apresenta a variação da emissão de CO com onze combustíveis em diferentes relações de ar – combustível.

O CO é um gás incolor, inodoro, insípido e levemente mais denso que o ar. Quando inalado pode entrar na corrente sanguínea e competir com o fornecimento de O_2 pelo sistema pulmonar. Dessa maneira, afeta diretamente a saúde humana na troca de O_2 com a hemoglobina, resultando na formação de carboxihemoglobina (COHb). Conseqüentemente, reduz a capacidade respiratória podendo levar à morte. A exposição ao monóxido de carbono aumenta os riscos de doenças cardiovasculares e a redução da capacidade para exercícios físicos, contribuindo para o ataque cardíaco (POULTON, 1994).

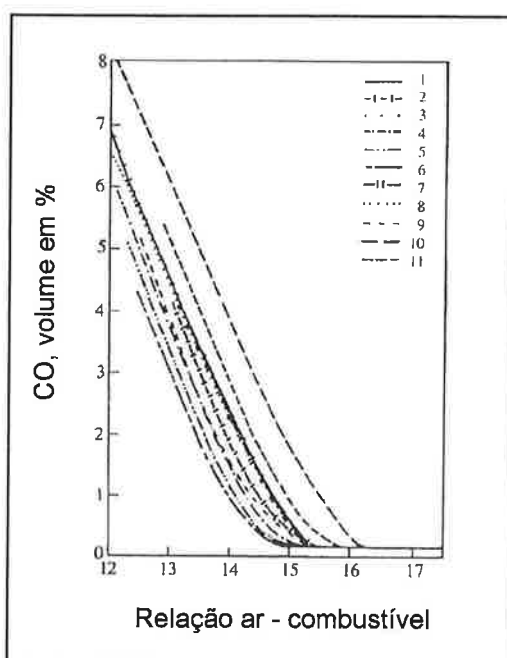


Gráfico 3: Variação da emissão de CO com onze combustíveis em diferentes relações de ar - combustível (HEYWOOD, 1988).

O monóxido de carbono é um produto intermediário no qual todo carbono deve passar quando oxidado. São oxidados na presença de O_2 para a formação de CO_2 , porém esta oxidação não ocorre de forma adequada nos motores de combustão interna, principalmente nas condições de marcha lenta e desacelerações. Na atmosfera o CO pode ser oxidado em contato com o radical hidroxila (OH), atuando indiretamente como gás do efeito estufa (POULTON, 1994).

Segundo a *World Health Organization*, recomenda-se que os níveis de exposição ao CO não superem 85 ppm para um período de permanência máxima de quinze minutos, 50 ppm para trinta minutos, 25 ppm para uma hora e 10 ppm para oito horas.

O dióxido de carbono (CO₂) é o maior produto na combustão dos motores e não afeta significativamente a formação de ozônio além de não ser tóxico. Porém entre os gases responsáveis pelo efeito estufa, o CO₂ contribui em 50 por cento no efeito de aquecimento (POULTON, 1994).

2.1.5 Inspeção veicular

A Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) criou em 14 de abril de 1994, através do Decreto 34.009, o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso no Município de São Paulo (I/M-SP).

O programa I/M - SP foi regulamentado com o sancionamento e publicação da Lei nº 11.733 de 1995, instituindo normas sobre a concessão do serviço de inspeção e funcionamento do programa I/M-SP. A Prefeitura realizou alterações no I/M, através da lei nº 12.157 e regulamentou a lei nº 11.733 com o decreto nº 36.305; em 2008, esses dispositivos foram alterados pela lei municipal 14.717 e decreto número 49.463.

Nos testes do I/M serão inspecionados os níveis de emissão de monóxido de carbono (CO), de hidrocarbonetos (HC), diluição (percentual de CO e CO₂) e velocidade angular do motor (rotação em marcha lenta). Os limites são variáveis em função do ano de fabricação do veículo, devido à tecnologia utilizada.

O objetivo desse programa é forçar os usuários do transporte motorizado a manter os seus veículos bem regulados, não modificar ou introduzir modificações, e assim deter os impactos sob a qualidade do ar (STEINBAUM, 2008).

2.2 Óleo lubrificante

O óleo lubrificante no motor de 125cc, de refrigeração a ar e cárter úmido, tem basicamente as mesmas propriedades e aditivos para lubrificar um motor de quatro tempos de automóveis. Porém, ao contrário dos veículos de quatro rodas, a maioria dos motores de motocicletas utiliza o mesmo óleo para lubrificar o motor, a embreagem

e a transmissão. Nesses casos, alguns aditivos redutores de atrito podem impedir o funcionamento correto da embreagem.

A resistência ao escoamento do óleo ou de qualquer outro tipo de líquido é conhecida como viscosidade. Dessa maneira, lubrificantes de baixa viscosidade escorrem mais rápidos devido ao atrito interno deste oferecer menor resistência que o de um lubrificante considerado de elevada viscosidade. A viscosidade é uma das propriedades mais importantes do óleo lubrificante, pois é responsável diretamente na formação da película lubrificante e na manutenção do funcionamento adequado do motor ao longo de sua vida útil. Para isso, é necessário seguir as recomendações do fabricante quanto ao período de troca do óleo.

A medição da viscosidade é geralmente baseada no período de tempo em que o óleo, a uma temperatura preestabelecida, escorre por um orifício. Entre os mais comuns estão os viscosímetros Saybolt, o cinemático, o Redwood e o Engler. Outra avaliação seria pela classificação SAE (*Society Automotive Engineering* – Sociedade dos Engenheiros Automotivos).

O índice de viscosidade tem a função de definir a variação da viscosidade do óleo com a temperatura, isto é, quanto mais elevado for o índice de viscosidade, menor será a variação da viscosidade com a temperatura, quando comparado com outro óleo de menor índice de viscosidade.

A eficiência do óleo lubrificante deve levar em conta a velocidade com que deve fluir, a carga entre as superfícies que deve suportar e a temperatura de trabalho que deve manter, garantindo as propriedades suficientes para o correto funcionamento do motor. Esses três fatores determinam a viscosidade adequada de acordo com o tipo de utilização.

Além disso, o número de basicidade total (TBN) e de acidez total (TAN) são avaliados pelo número equivalente em miligramas de hidróxido de potássio por gramas (mg.KOH/g), quanto maior o número, mais básico e quanto menor o número, mais ácido será a solução avaliada.

A oxidação, nitração e a presença de sulfatos são medidas em absorvância por centímetro (Abs/cm) e tendem a aumentar seus valores de acordo com a vida útil do óleo lubrificante em funcionamento no motor e no combustível utilizado.

2.2.1 Categorias do óleo lubrificante

Há três categorias básicas do óleo lubrificante, a primeira é estabelecida pela SAE (*Society of Automotive Engineers*), que padroniza a viscosidade, a segunda quanto à aplicação do óleo pelo API (*American Petroleum Institute*) ou pela JASO (*Japanese Automobile Standards Organization*) e, por último a base de fabricação do óleo.

A categoria SAE estabelece determinados limites em unidades de tempo (segundos) para determinar a viscosidade. No caso de lubrificantes para motores de combustão interna, há, por exemplo, os índices 5W, 10W, 20W, 30, 40 e 50, ou multi-viscosos, que tem pouca mudança de viscosidade em relação à temperatura. Como por exemplo, o 10W30, 20W40 e 20W50, conforme apresentado no Gráfico 4.

A categoria API ou JASO, refere-se ao rendimento ou aplicação do óleo lubrificante. Como por exemplo, a classificação pode ser SE, SF, SG, SH, SJ e SL entre outras. Quanto maior a segunda letra do alfabeto, maior concentração e tipos de aditivos apresentará o óleo lubrificante.

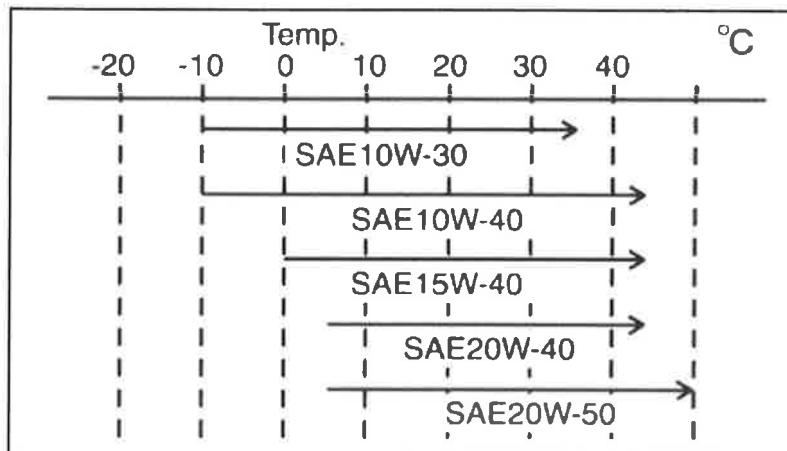


Gráfico 4: Classificação SAE dos óleos multi-viscosos em função da temperatura (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2007).

A categoria como material base do óleo lubrificante pode ser mineral, vegetal, sintético e semi-sintético. O mineral é o óleo base usual nas motocicletas de baixa cilindrada, comumente nos modelos de 125cc.

O óleo vegetal tem uma excelente lubrificação comparado ao mineral, porém a oxidação ocorre mais rápida em contato com o ar e são utilizados, em geral, somente em motores de competição (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Os óleos sintéticos são elaborados para manter uma viscosidade estável em altas e baixas temperaturas e têm características que superam as especificações dos óleos minerais, podendo ser utilizados por períodos de tempo maiores. Por último tem-se o semi-sintético, que é composto por uma mistura de óleo mineral com o sintético, e apresentam características de estabilidade no óleo com propriedades de um mineral.

2.2.2 Aditivos do óleo lubrificante

Os aditivos em sua maioria são aditivos formados por materiais solúveis em óleo, preparados usando o próprio óleo como solvente. Devido à estabilidade no armazenamento e na facilidade de manipulação, os aditivos chegam a representar de 30 a 75% em massa no óleo (BENFAREMO, 1991).

Os pacotes de aditivos podem apresentar algumas variações de acordo com a aplicação, sendo que, um pacote típico de aditivos pode ser composto como mostra o Gráfico 5 abaixo:

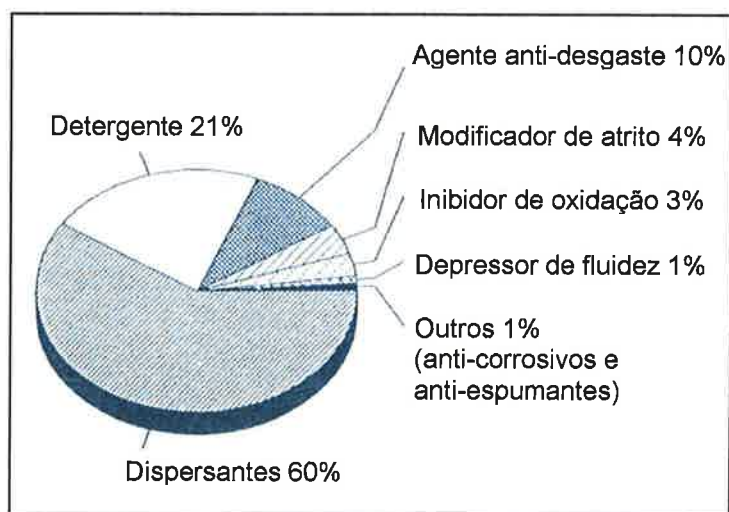


Gráfico 5: Pacote típico de aditivos (BENFAREMO, 1991).

Enquanto que os dispersantes são materiais que solubilizam ou inibem a formação de borra no motor em temperaturas baixas, o detergente são materiais que reduzem, impedem a formação ou até eliminam os depósitos em temperaturas elevadas (BENFAREMO, 1991).

Devido às exigências de controle de borras e da oxidação nos motores atuais e na necessidade de uma classificação de serviço API (como SL, por exemplo) há uma alta concentração de dispersantes no aditivo.

Os detergentes, além de reduzir e eliminar depósitos, também oferecem proteção contra a oxidação. Os metais mais comuns utilizados são o sódio, o cálcio e o magnésio.

Os detergentes sobre-básicos são utilizados principalmente para neutralizar os ácidos produzidos pelo processo de combustão e pela oxidação do óleo. Os fenatos por exemplo, que são usados comercialmente como detergente, também conferem propriedades anti-oxidantes. Já os fosfanatos, também usados como detergentes, têm propriedades de carga, anti-desgaste e anti-oxidante.

Basicamente, a oxidação ocorre pela reação do lubrificante quente com o ar, nos resíduos do combustível e na presença de subprodutos da combustão. Dessa maneira, a oxidação no cárter do óleo lubrificante é muito complexa (BENFAREMO, 1991).

Para que o anti-oxidante exerça a função eficazmente, é necessário romper as etapas de propagação das cadeias das reações oxidantes. Por isso, a escolha do anti-oxidante está diretamente relacionado com as condições que o óleo lubrificante será submetido.

A maioria dos agentes anti-desgaste são de compostos que contém enxofre e/ou fósforo, de modo que uma película de polissulfeto protege as superfícies envolvidas. Compostos de enxofre-molibdênio também tem se mostrado eficazes aditivos anti-desgaste (BENFAREMO, 1991).

A Figura 1 abaixo apresenta, de forma esquemática, duas superfícies em movimento relativo sob condições de lubrificação inferiores às limites.

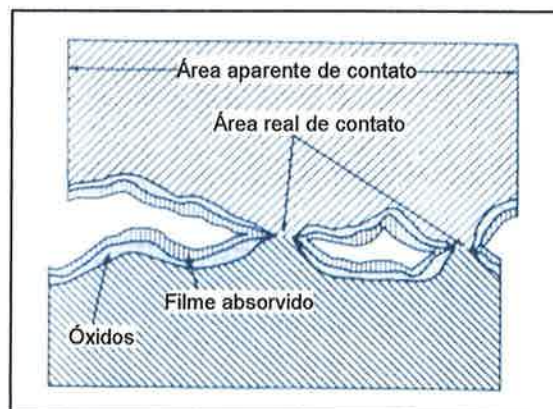


Figura 1: Superfícies em movimento relativo abaixo das condições limites de lubrificação (HEYWOOD, 1988).

Os modificadores de atrito são relacionados aos aditivos de extrema pressão na estrutura e modo de ação na lubrificação do motor. Os aditivos a base de dissulfeto de molibdênio são eficientes modificadores de atrito.

Os depressores de ponto de fluidez apresentam maior vantagem em baixas temperaturas para o desempenho adequado em climas frios, que tem a função de reduzir o ponto de fluidez do óleo. A eficácia desse aditivo depende basicamente do peso molecular, da composição química e outras características estruturais da molécula do polímero (BENFAREMO, 1991).

Os inibidores de corrosão atuam nas superfícies metálicas de modo que a composição química desse aditivo adere nos metais criando um revestimento de proteção. Funcionam especificamente para evitar a corrosão de metais ferrosos impedindo que a água ou outro material corrosivo entre em contato com essa superfície.

A espuma no óleo do motor retém grandes quantidades de ar e água, e em temperaturas elevadas, há oxidação do óleo. Por isso os anti-espumantes são fundamentais para evitar a oxidação e a reduzir a pressão do óleo.

2.2.3 Contaminantes do óleo lubrificante

A periodicidade da troca da carga de óleo lubrificante é definida em função de sua deterioração decorrente, principalmente, da sua contaminação pelo combustível utilizado.

Além disso, o acúmulo de partículas sólidas, água e solventes afetam o comportamento dos lubrificantes.

Considerando que o circuito de óleo no motor de quatro tempos é fechado, a presença de impurezas são decorrentes principalmente de poeira em suspensão no ar e da falta de manutenção adequada no filtro de ar.

A água é produzida em grande parte após a parada do motor. Os efeitos no comportamento do lubrificante se apresentam sob a forma de emulsões, que em conjunto com as impurezas, formam resíduos e borras que dificultam a lubrificação.

A presença de outros fluídos diluídos, tais como solventes, altera as propriedades dos lubrificantes, principalmente a viscosidade e a estabilidade química. Conseqüentemente surgem problemas de superaquecimento, desgaste, corrosão e ferrugem.

2.2.4 Consumo do óleo lubrificante

A maior parte do consumo de óleo lubrificante, nos padrões normais de funcionamento de um motor de quatro tempos, está entre o guia de válvulas e a haste da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000). Após a lubrificação nesse ponto, o óleo flui para a câmara de combustão, local onde é queimado. Por isso, o retentor da haste da válvula deve ser dimensionado para manter um consumo mínimo de óleo, conforme apresenta a Figura 2 abaixo.

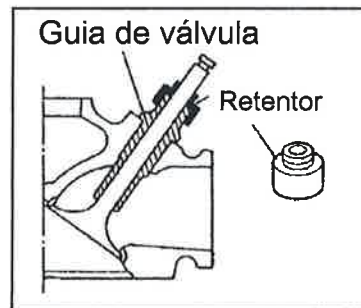


Figura 2: Guia da válvula, retentor e haste da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Outro ponto importante de consumo de óleo está entre o cilindro e o pistão, principalmente quando os anéis apresentam desgastes. As forças que atuam nesse contato hidrodinâmico são complexas e dependem do tempo e da mudança do deslizamento dos anéis, como apresentado na Figura 3.



Figura 3: Distribuição de pressão no filme de óleo lubrificante no tempo de expansão, corte longitudinal (HEYWOOD, 1988).

P_c = pressão do cilindro;
 P_{ir} = pressão do anel interno;
 P = pressão
 U = velocidade relativa entre as duas superfícies
 ABC = superfície do anel

A lubrificação da biela com o virabrequim está diretamente relacionada com a correta lubrificação dos anéis do pistão. Uma lubrificação deficiente provocará um desgaste excessivo dos anéis, e conseqüentemente, um consumo elevado do óleo lubrificante. A Figura 4 esquemática mostra a distribuição de pressão no filme de óleo lubrificante no virabrequim para uma dada condição de funcionamento do motor.

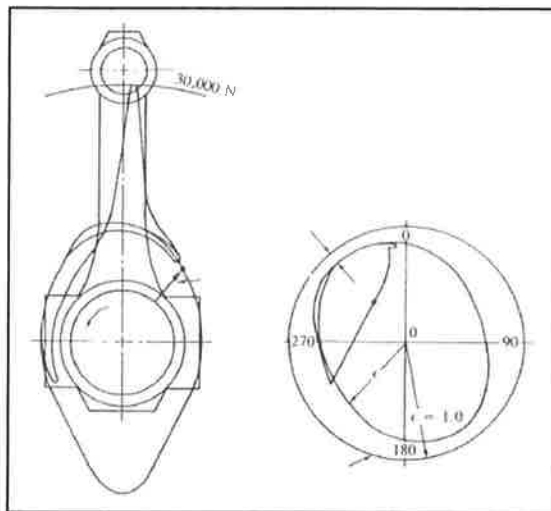


Figura 4: Distribuição de pressão no filme de óleo lubrificante no virabrequim (HEYWOOD, 1988).

Em suma, por melhor que seja o lubrificante, após um uso contínuo em temperaturas e cargas distintas, sua oxidação é inevitável, tornando-se mais viscoso e potencializando a formação de gomas e lacas que prejudicarão o sistema de lubrificação, e em muitos casos, a substituição de componentes do motor.

2.3 Gasolina

A “qualidade” da gasolina é essencial para o correto funcionamento do motor de combustão interna. Variações em sua composição química podem promover condições de mau funcionamento, utilização dificultada do veículo e a percepção de perda de desempenho pelo usuário.

Assim como o projeto dos motores vem se aperfeiçoando, a melhoria da qualidade dos combustíveis acompanha esta evolução, particularmente em termos de qualidade anti-detonante que reduz as ocorrências de anomalias de combustão (pré-

ignição e detonação), que limitam a potência disponibilizada e pode trazer prejuízos catastróficos no motor (OWEN *et al.*, 1990).

A gasolina automotiva brasileira tem sua especificação para a comercialização definida pela Portaria ANP nº 309 de 27 de dezembro de 2001 por meio do Regulamento Técnico nº 5 de 2001. É proibida, no Brasil, a comercialização de gasolina sem a adição de AEAC, ou seja, da denominada gasolina A. A adição de AEAC na gasolina é definida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pela Portaria MAPA nº 554 de 27 de maio de 2003.

A adição de 25% em volume de AEAC está em vigor atualmente conforme a Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, a qual dispõe que o Poder Executivo fixe o percentual da mistura de álcool anidro na gasolina no intervalo de 20% a 25%. Entretanto, a tolerância adotada é sempre de 1%, considerando a forma que é preparada nas distribuidoras.

A composição da gasolina depende da origem do petróleo e dos processos que são utilizados no refino. Os hidrocarbonetos que formam a gasolina vão de 4 a 13 átomos de carbono, massa específica de 740 a 776 kg/m³ e temperatura de ebulição de 30 a 225 °C. Dessa maneira, a gasolina é formada por uma mistura de hidrocarbonetos líquidos voláteis e inflamáveis. Os hidrocarbonetos são sub-classificados em parafínicos, olefínicos, naftênicos e aromáticos.

2.3.1 A Avaliação da Gasolina C

Os itens avaliados na especificação da Gasolina C estão na Tabela 1 e são discutidos a seguir.

A cor e o aspecto da gasolina são verificados visualmente, indica a presença de contaminantes ou oxidações de compostos instáveis que podem causar entupimento do sistema de combustível e perda de desempenho do veículo.

A mudança no teor de adição de AEAC altera o número de octano e a emissão de poluentes, porém, em geral, é imperceptível ao consumidor.

A massa específica permite identificar a adição de compostos mais leves ou pesados em uma possível adulteração na gasolina, porém não identifica em caso de adição de solventes e AEHC em quantidades controladas.

A destilação permite traçar uma curva em função das características da gasolina que tem uma mistura de muitos compostos, e conseqüentemente, diferentes

pontos de ebulição. A curva de destilação é utilizada para a identificação de adulteração na gasolina, porém há casos de adição de solventes controlados que não são identificados.

O número de octano é obtido a partir da combustão de misturas de dois hidrocarbonetos parafínicos puros de estruturas químicas selecionados como padrões. O primeiro é o iso-octano (2,2,4 trimetilpentano ou iso-octano) que tem alta resistência à detonação e classificado com o valor 100; o outro é o n-heptano, com baixa resistência a detonação e classificado com o valor zero. O número de octanas do combustível é o volume percentual do iso-octano em relação ao n-heptano que apresenta o mesmo desempenho em termos de detonação ao obtido num teste em motor e condições padronizadas (OWEN *et al.*, 1990).

Dois parâmetros definem o índice antidetonante (IAD) de um combustível para motores de ignição por faísca: o número de octano pesquisa (RON – *research octane number*), que está correlacionado a condições de dirigibilidade suave, e o número de octano motor (MON- *motor octane number*), que está relacionado ao uso de motores em condições severas.

Na especificação da gasolina C é solicitado o número octano motor e o índice antidetonante. O IAD é a média aritmética dos resultados obtidos para o RON e o MON do combustível.

A adição de solvente na gasolina, dependendo do composto utilizado, pode aumentar ou reduzir o índice antidetonante enquanto que a adição de AEHC somente aumenta esse índice.

A pressão do vapor indica a maior pressão absoluta a qual uma substância pode ser submetida, numa determinada temperatura, mantendo-se na forma de vapor exclusivamente. Esse valor máximo é de 69 kPa para a gasolina. Porém, para facilitar a partida a frio nos meses de menor temperatura de Estados como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Tocantins, bem como para o Distrito Federal, admite-se, nos meses de abril a novembro, um acréscimo de 7,0 kPa ao valor máximo especificado para a pressão de vapor (ANP, 2001).

O volume de goma identifica a presença dos compostos olefínicos que são muito menos estáveis à oxidação do que os compostos aromáticos ou parafínicos. Altos teores de olefinas geram instabilidade química na gasolina devido à reação com outros hidrocarbonetos na presença de oxigênio, luz ou calor, promovendo a formação

de goma. Os processos de craqueamento da gasolina podem dar origem a compostos di-olefínicos em adição de mono-olefínicos, tornando as gasolinas significativamente mais suscetíveis à oxidação e à formação de goma (OWEN *et al.*, 1990).

O período de indução a 100°C é de no mínimo de 360 minutos. Este vapor pode ser correlacionado com o período de estocagem da gasolina.

A corrosividade ao cobre a 50°C tem a função de verificar o grau de corrosão que ocorre nas peças metálicas do motor após três horas em contato com essa gasolina.

O teor de enxofre não pode ultrapassar o valor de 0,10% em massa. O enxofre é responsável pela formação de material particulado e gases poluentes como o SO₂ e o SO₃, que originam as chuvas ácidas, e além disso, sua ação corrosiva deteriora o óleo do motor e causa corrosão nas peças do motor em contato com os gases de escape tais como catalisadores.

O benzeno é um hidrocarboneto encontrado na gasolina no qual não pode passar o valor de 1% em volume na gasolina. Contatos repetidos com esta substância tornam a pele vermelha, seca e áspera e promovem rachaduras devido a sua ação solubilizante sobre a camada gordurosa da pele. Contínuas exposições podem resultar em anemia e leucemia. Essa agressão à medula óssea é a principal ação tóxica do benzeno numa exposição crônica (BRASKEM, 2005).

O chumbo é um metal de elevada toxicidade adicionado à gasolina com a finalidade de aumentar o seu índice anti-detonante. É um dos componentes mais bem controlados na especificação do combustível pois tem efeitos fortemente degenerativos sobre a saúde humana; nos veículos, reduz, por exemplo, a durabilidade dos catalisadores. No Brasil, a quantidade de chumbo na gasolina não pode exceder o valor de 0,005 g/l. Esse valor está associado à possibilidade de contaminação e não ao fato de serem permitidas adições desse metal durante a produção.

Uma última consideração diz respeito às porcentagens máximas em volume de hidrocarbonetos (valores percentuais máximos em volume de 45% de aromáticos e 30% de olefínicos). A alta porcentagem de hidrocarbonetos aromáticos permitida na especificação da gasolina é explorada pelos adulteradores de gasolina que se utilizam de solventes com essa estrutura química, sem desrespeitar os limites da especificação regulamentada pela ANP.

Tabela 1. Especificação da Gasolina Comum tipo C. Portaria ANP nº 309 de 27/12/2001.

Característica	Unidade	Especificação	Normas
Cor	não tem	De incolor a amarelada se isento de corantes, límpida e isento de impurezas.	NBR 7148 ASTM D1298
Aspecto			
Álcool Etilico Anidro Combustível (AEAC)	% em volume	O AEAC a ser misturado à gasolina automotiva para produção da gasolina C deverá estar em conformidade com o teor e a especificação estabelecidos pela legislação em vigor.	NBR13992
Massa específica a 20°C	Kg/m³	Anotar faixa típica 740 e 776	NBR 7148 NBR 14065 ASTM D1298 ASTM D4052
Destilação			NBR 9619 ASTM D86
10% evaporado, máx.		65	
50% evaporado, máx.	°C	90	
90% evaporado.		120	
PFE, máx.		220	
Resíduo	% em volume	2	
Nº de Octano Motor - MON, mín.	não tem	82	NBR MB 457 ASTM D2700
Índice Antidetonante - IAD, mín.	não tem	Teor mínimo estabelecido pela legislação em vigor.	NBR MB 457 ASTM D2699 ASTM D2700
Pressão de vapor a 37,8°C	kPa	máximo de 69	NBR 4149 NBR 14156 ASTM D4953 ASTM D519 ASTM D5191 ASTM D5482
Goma atual lavada máx.	mg/ 100ml	5	NBR 14525 ASTM D381
Período de indução a 100°C, mín.	minutos	360	NBR 14478 ASTM D525
Corrosividade ao cobre a 50°C, 3h, máx.	não tem	1	NBR 14359 ASTM D130
Enxofre, máx.	% em massa	0,1	NBR 6563 NBR 14533 ASTM D1266 ASTM D54 ASTM D4294 ASTM D3120 ASTM D2622
Benzeno, máx.	% em volume	1	ASTM D3606 ASTM D6277 ASTM D5443 ASTM D3237
Chumbo, máx.	g/l	0,005	ASTM D3237
Aditivos	não tem	Utilização permitida conforme legislação em vigor, sendo proibidos os aditivos a base de metais pesados.	não tem
Hidrocarbonetos:	% em volume		NBR MB424 ASTM D1319
Aromáticos, máx.		45	
Olefínicos, máx.		30	

2.3.2 Os aditivos na Gasolina C

Os aditivos disponíveis na gasolina são geralmente de efeito detergente com o intuito de promover a limpeza das peças metálicas que tem contato direto com o combustível. A utilização em vigor proíbe o uso de aditivos à base de metais pesados.

Atualmente não há uma legislação que determine o uso de aditivos de efeito detergente para toda a Gasolina C comercializada no Brasil. Países como, por exemplo, Estados Unidos, México, Colômbia, Tailândia, China e Índia têm obrigatoriedade legal na adição desse aditivo.

Conforme SA (2008), a inclusão dos aditivos em toda a gasolina comercializada no Brasil traria vantagens contra a adulteração dos combustíveis, pois poderia haver um controle das empresas que enviassem dados conflitantes aos dados dos fabricantes de aditivos.

Além disso, os aditivos detergentes devido às características químicas, contribuem na redução de emissões de poluentes, na melhor lubricidade e estabilidade, e, conseqüentemente, menores tendências na formação de depósitos e corrosividade.

2.3.3 A análise da gasolina C pela ANP

Mensalmente são disponibilizados, via *website* da ANP, os Boletins da Qualidade dos Combustíveis, de modo que são apresentados os índices de não-conformidades dos combustíveis comercializados no território nacional.

Conforme os boletins mensais divulgados pela ANP, há quatro maneiras utilizadas para a identificação de alguma não conformidade na Gasolina C. Essa seqüência está de acordo com o grau de complexidade na análise para a identificação. Encontrada uma não conformidade, o teste é finalizado.

A primeira está na análise do teor alcoólico na gasolina. Em seguida, é verificada a curva de destilação, e caso haja alguma evidência da adição de algum solvente, porém, com uma quantidade dentro das especificações da ANP, é feita uma análise do número de octanas. Por último, se o número de octanas estiver de acordo com a especificação, é realizada uma cromatografia gasosa para verificar se há a presença de marcador utilizado nos solventes nacionais e nos importados legalmente. Essa seqüência utiliza-se o critério do custo das análises, do menor para o maior valor para identificação de alguma irregularidade.

Os marcadores são moléculas orgânicas adicionadas ao solvente em partes por bilhão. Para não interferirem na aplicabilidade dos solventes, os marcadores são projetados de forma a manter suas funções básicas como, por exemplo, em pinturas, vernizes e perfumes (FLUMIGNAM *et al*, 2007).

Porém, a utilização de marcadores pode causar danos ao produto final conforme a finalidade do solvente. Solventes destinados a algumas aplicações, devido ao processamento químico, não apresentam marcadores (MENDES, 2008).

Desta forma, dependendo do solvente utilizado na adulteração não apresentar o marcador químico, dificilmente será identificada alguma não conformidade na qualidade da gasolina.

No período de janeiro de 2006 a novembro de 2008, os boletins mensais, somente para a gasolina, das adulterações identificadas pela ANP dividem-se da seguinte maneira como mostra o Gráfico 6.

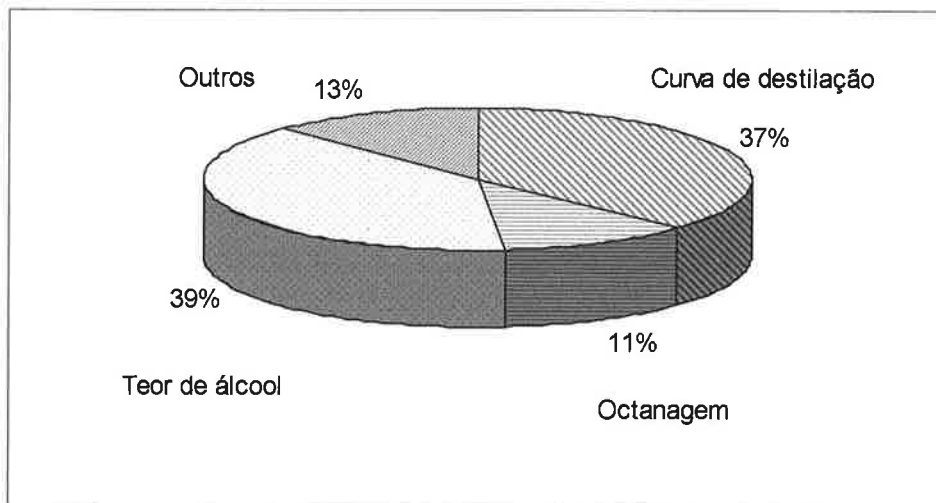


Gráfico 6: Proporção de não conformidades apresentadas no período de janeiro de 2006 a novembro de 2008 (ANP, 2008).

A porcentagem de não conformidades identificadas nas gasolinas analisadas ao longo dos 35 meses teve uma variação tanto na proporção de adulterações como na porcentagem de irregularidades em relação ao número de amostras, conforme os Gráficos 6 e 7.

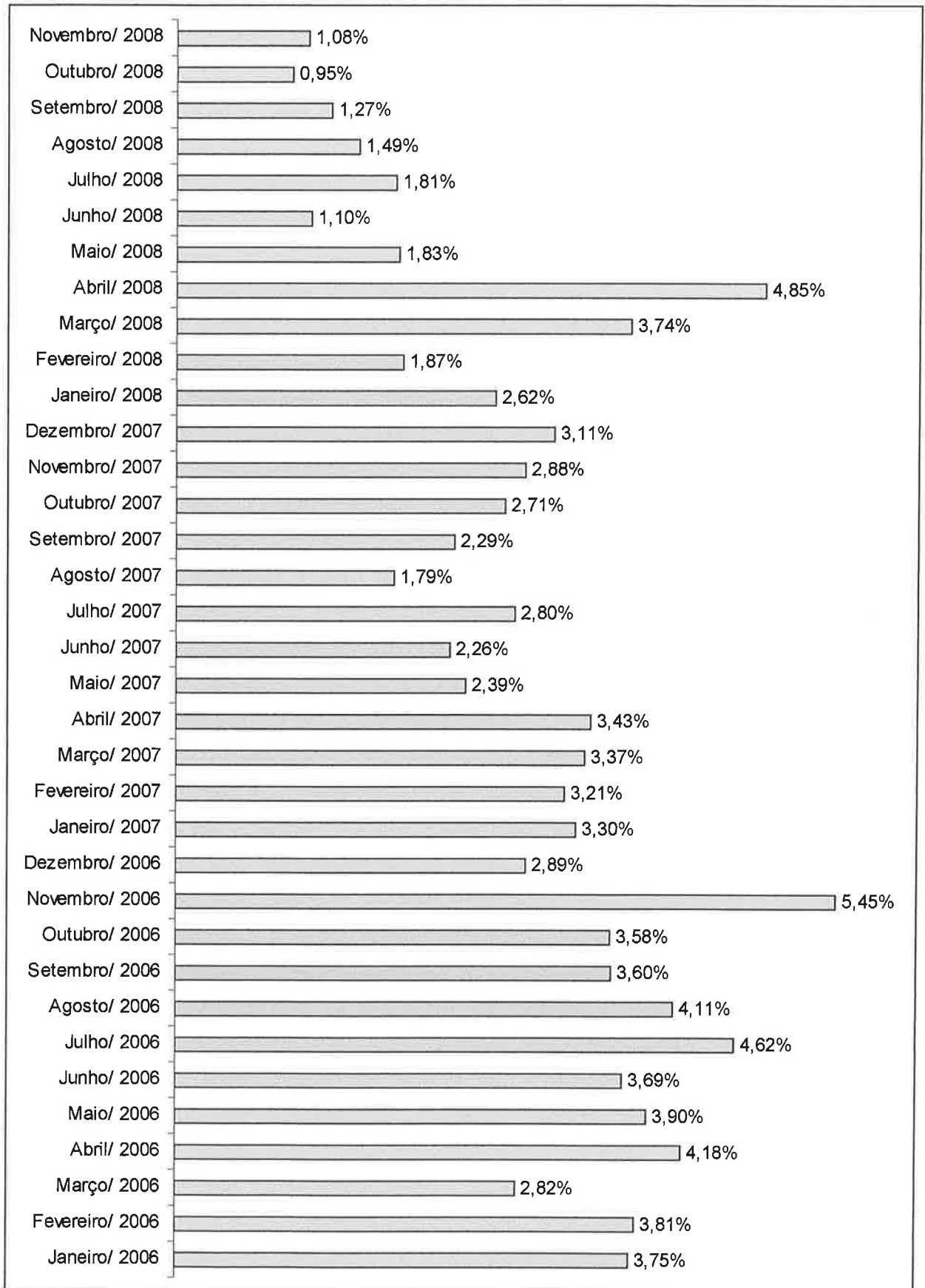


Gráfico 7: Boletins mensais de não conformidades apresentadas no período de janeiro de 2006 a novembro de 2008 (ANP, 2008).

As porcentagens encontradas nos boletins mensais podem ter grandes variações de adulterações. Enquanto em alguns meses o índice de não conformidades está em torno de 1%, em outros ultrapassam 5%.

Porém, algumas misturas de solventes sem marcadores na Gasolina C, com a manutenção da porcentagem do AEAC na mistura da gasolina, impossibilitam uma análise correta em alguns casos na divulgação dos boletins mensais da ANP.

2.4 Álcool etílico combustível

Atualmente são comercializados no Brasil dois combustíveis oxigenados, o álcool etílico anidro carburante, utilizado na mistura da gasolina e o álcool etílico hidratado carburante, comercializado para os veículos exclusivamente a álcool e para os veículos bicombustíveis abastecidos com gasolina e álcool.

Como o álcool etílico hidratado carburante pode apresentar até 7,4% em massa de água, há entendimentos entre a Petrobras e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) para a produção integral do álcool etílico anidro carburante. A unificação do álcool etílico anidro carburante traria benefícios quanto ao controle nas possíveis adulterações, agregaria maior valor no produto para se tornar uma *commodity* mundial, reduziria os valores de frete na distribuição sem o transporte de água, diminuiria o ataque corrosivo proveniente da água e reduziria o consumo dos veículos abastecidos exclusivamente a álcool e os bicombustíveis.

Segundo PORTO (2006), mesmo que o álcool etílico anidro carburante custasse cerca de 10% a mais que o hidratado no período da safra, haveria uma compensação nos benefícios em relação à economia energética.

2.4.1 Álcool etílico anidro carburante (AEAC)

O álcool etílico anidro carburante (AEAC) contém um teor alcoólico de no mínimo 99,30 °INPM e uma massa específica de 790,30 Kg/m³ a 20 °C. A gasolina que recebe o AEAC é conhecida também como *gasohol*. A especificação do AEAC no Brasil segue a Portaria ANP, nº 36 de 06 de dezembro de 2005.

As vantagens na adição do AEAC na gasolina, por ser um combustível oxigenado, estão principalmente na redução de emissão dos gases CO e HC. Porém, para que o motor funcione corretamente com o *gasohol*, devem ser feitas alterações no

motor principalmente no sistema de alimentação e nos materiais de construção para evitar o ataque corrosivo do álcool. Segundo OWEN *et al* (1990), há a necessidade de mudar os parâmetros de funcionamento de sistemas de injeção eletrônica e a geometria de componentes de carburadores para compensar a quantidade de oxigênio presente no combustível.

O etanol tem sua composição química dada pela fórmula molecular C_2H_5OH , enquanto que a gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos que, em geral, contém de 4 a 13 carbonos na molécula. Enquanto as porcentagens em peso de carbono, hidrogênio e oxigênio no etanol são, respectivamente, de 52,2%, 13,1% e 34,7%, a gasolina possui de 85 a 88% de carbono e de 12 a 15% de hidrogênio. (OWEN *et al.*, 1990). Dessa maneira, o oxigênio do etanol substitui uma parte considerável de carbono da gasolina.

A Tabela 2 apresenta a especificação do AEAC.

Tabela 2: Especificação do AEAC. Portaria ANP nº 36 de 06/12/2005

Característica	Unidade	Especificação	Normas
Cor	não tem	Límpida e isento de impurezas. Deve ser adicionado o teor de 15mg/l proporcionando a cor laranja	Visual
Aspecto			
Ácido total (como o ácido acético), máx.	ml/litro	30	NBR 9986 ASTM D1613
Condutividade elétrica, máx.	$\mu S/m$	500	NBR 10547 ASTM D1125
Massa específica à 20°C	Kg/m^3	791,5	NBR 5592 ASTM D4052
Teor alcoólico	°INPM	mín. de 99,3	NBR5592
Potencial hidrogeniônico	pH	não tem	NBR 10891
Resíduo por evaporação máx.	mg/100MI	não tem	NBR 8644
Teor de hidrocarbonetos, máx.	% em volume	3,0	NBR 13993
Íon Cloreto, máx.	ml/Kg	não tem	NBR 10894 NBR 10895 ASTM D512
Teor de etanol, mín.	% em volume	99,6	ASTM D5501
Íon Sulfato, máx.	mg/Kg	não tem	NBR 10894 NBR 12120
Ferro, máx.	mg/Kg	não tem	NBR 11331
Sódio, máx.	mg/Kg	não tem	NBR 10422
Cobre, máx.	mg/Kg	0,07	NBR 10893

A quantidade de oxigênio no etanol torna a relação estequiométrica ar-combustível menor e gera uma mistura pobre quando adicionado à gasolina. As

características de volatilidade também se modificam com a mistura do etanol na gasolina e, conseqüentemente, surgem diferenças nos desempenhos de um motor ao consumir a gasolina pura e uma “gasolina oxigenada”.

A pressão de vapor de uma “gasolina oxigenada” varia de acordo com o tipo de composto oxigenado adicionado. Por exemplo, a adição de metanol que possui uma pressão de vapor maior que o etanol, gera dificuldades ainda maiores que o etanol para a evaporação da mistura com o aumento da porcentagem misturada à gasolina.

O Gráfico 8 mostra o efeito da concentração de oxigenados na pressão de vapor de misturas com gasolina.

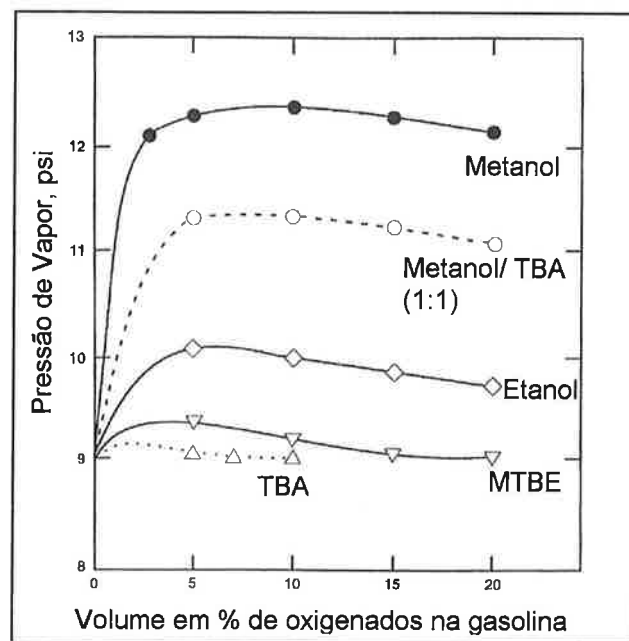


Gráfico 8: Efeito da concentração de oxigenados na pressão de vapor de misturas com gasolina (OWEN *et al.*, 1990).

Em contrapartida, o número de octanas aumenta com a adição do etanol. O etanol possui número de octano RON que varia entre 120 e 135 octanas e número de octano MON que varia entre 100 e 106 (OWEN *et al.*, 1990).

O Gráfico 9 apresenta a tolerância de água na mistura de metanol e etanol com 26% de aromático em volume e sem a presença de cossolvente.

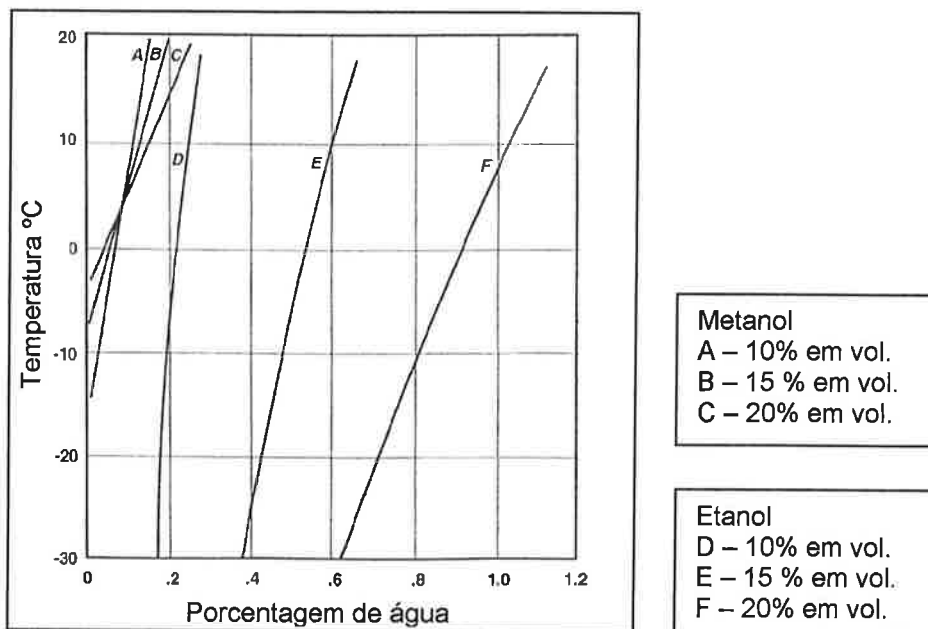
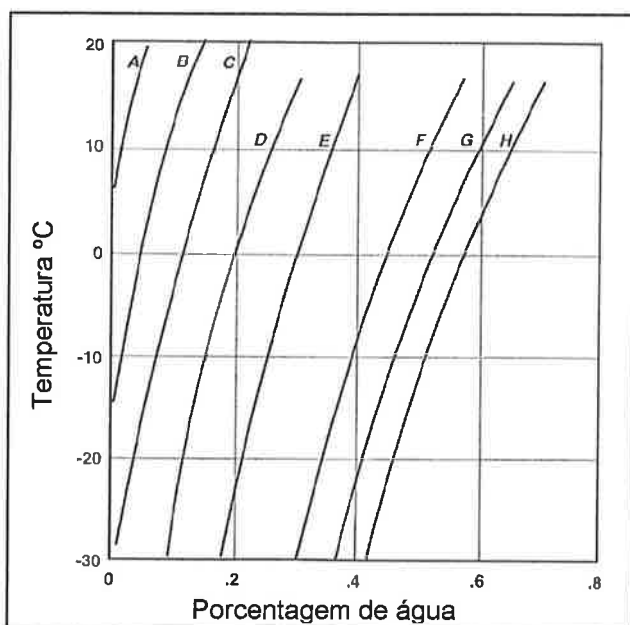


Gráfico 9: Tolerância de água na mistura de metanol e etanol com uma gasolina com 26% de aromático em volume e sem a presença de cossolvente (OWEN *et al.*, 1990).

Enquanto o etanol é totalmente hidrófilo, a gasolina não se mistura com a água. Porém, o etanol se mistura com os hidrocarbonetos. Dessa maneira, dependendo da porcentagem de água no etanol, pode ocorrer a separação do combustível em duas fases. Segundo OWEN *et al* (1990), antes do combustível se apresentar em duas fases, há uma quantidade tolerável de água na mistura do combustível oxigenado que depende da temperatura, da composição dos hidrocarbonetos da gasolina, do tipo e concentração do álcool e da presença de cossolventes.

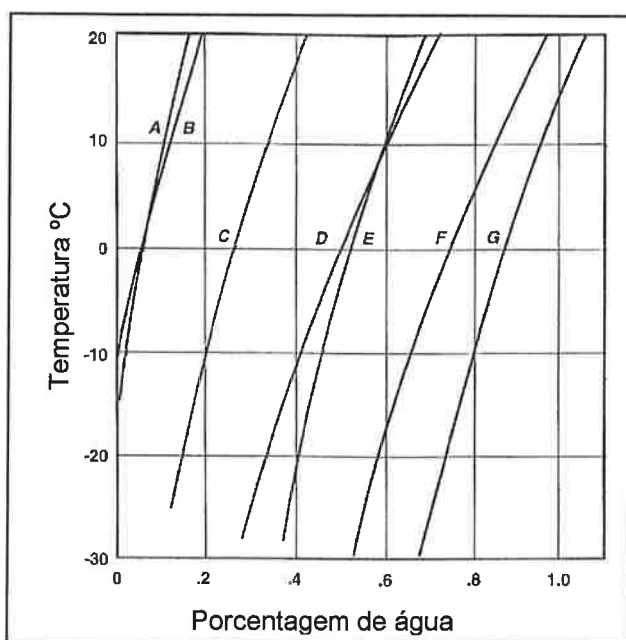
A tolerância de água na mistura de um combustível oxigenado varia também da temperatura e da quantidade de hidrocarbonetos aromáticos presentes na gasolina misturada, conforme mostra o Gráfico 10.



	AROM. na gasolina Vol. %	MeOH na mistura Vol %	EtOH na mistura Vol. %
A	14	10	-
B	26	10	-
C	38	10	-
D	26	6,7	3,3
E	26	3,3	6,7
F	14	-	10
G	26	-	10
H	38	-	10

Gráfico 10: Tolerância de água numa mistura de metanol e etanol de 10% na gasolina, com diferentes quantidades de aromáticos (OWEN *et al.*, 1990).

O Gráfico 11, a seguir, mostra como a adição do cossolvente no combustível oxigenado aumenta a tolerância de água.



	MeOH na mistura Vol %	EtOH na mistura Vol. %	Cossolvente Vol. %
A	10,0	-	-
B	13,2	-	-
C	10,0	-	3,2 iBuOH
D	14,0	-	6,0 iBuOH
E	-	10,0	-
F	-	13,2	-
G	-	10,0	3,2 iBuOH

Gráfico 11: Efeito do cossolvente na tolerância de água na mistura de metanol e etanol com 26% de aromáticos na gasolina (OWEN *et al.*, 1990).

Outro fator ao qual se deve dar atenção diz respeito aos depósitos formados particularmente nas válvulas e coletor de admissão que aumentam com o uso do combustível oxigenado. A mistura da gasolina com o AEAC aumenta a solubilidade da

goma e conseqüentemente aumenta a tendência de formação de depósitos no sistema de admissão, conforme mostra o Gráfico 12.

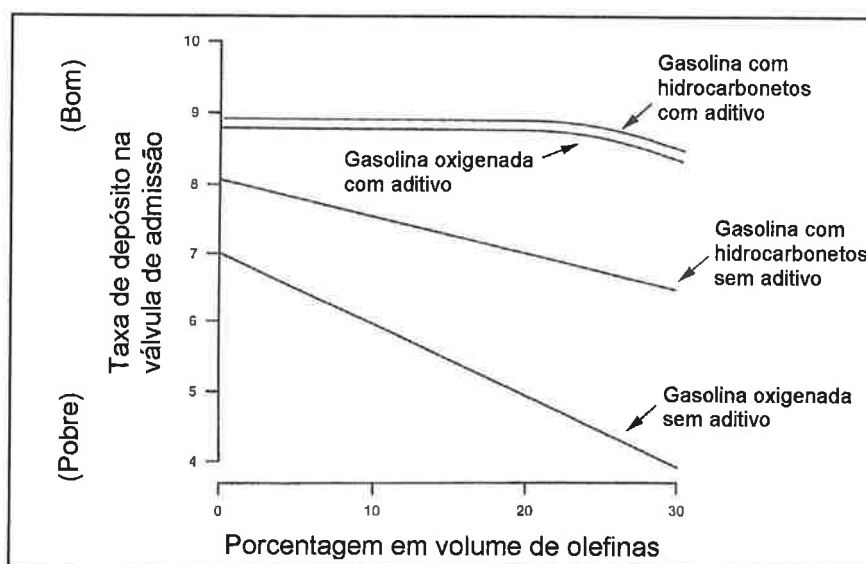


Gráfico 12: Influência dos oxigenados e aditivos na limpeza do sistema de admissão (OWEN *et al.*, 1990).

A utilização de um combustível com maior concentração de etanol pode gerar desprendimento de goma e outros tipos de sedimentos, promovendo o bloqueio dos filtros. Mudanças no abastecimento do tanque de combustível é o principal efeito para dissolver a goma já existente no sistema de alimentação.

Porém, segundo OWEN *et al* (1990), a combustão de um motor preparado para funcionar com a presença de oxigenados melhora parâmetros de desempenho tal como redução comprovada de emissão de CO.

2.4.2 Álcool etílico hidratado carburante (AEHC)

O álcool etílico hidratado carburante (AEHC) é o combustível conhecido como E100 (100% de etanol). Devido à alta concentração de oxigenados nesse combustível, os efeitos no desempenho, momento de força, partida a frio, desgastes e emissões são mais perceptíveis que o AEAC misturado com a gasolina.

A especificação segue a mesma Portaria ANP, nº 36 de 06 de dezembro de 2005 que o AEAC, porém com algumas mudanças.

Enquanto que o AEAC tem um teor alcoólico de no mínimo 99,3 °INPM, o AEHC está entre 92,6 a 93,8 °INPM. Conseqüentemente, há diferenças na especificação da massa específica controlada a 20 °C entre eles.

A máxima acidez total, condutividade elétrica e teor de hidrocarbonetos são as mesmas para ambas as especificações do etanol, porém a diferença do teor alcoólico tem uma pequena variação em volume de combustível.

As quantidades máximas de íon sulfato, de ferro e de sódio são controladas somente no AEHC, sendo que o AEAC é controlada a quantidade de cobre por espectrofotometria pois, em geral, a produção e o transporte se fazem com a utilização de tubulações e equipamentos que contém esse metal ou suas ligas.

O potencial hidrogeniônico (pH) deve estar entre 6,0 a 8,0.

A presença de resíduos de evaporação é verificada somente para AEHC (máximo de 5mg/ 100 ml).

A Tabela 3 apresenta a especificação do AEHC.

Tabela 3: Especificação do AEHC. Portaria ANP nº 36 de 06/12/2005.

Característica	Unidade	Especificação	Normas
Cor	não tem	Límpida e isento de impurezas.	Visual
Aspecto			
Ácidez total (como o ácido acético), máx.	ml/litro	30	NBR 9986 ASTM D1613
Condutividade elétrica, máx.	µS/m	500	NBR 10547 ASTM D1125
Massa específica à 20°C	Kg/m ³	807,6 a 811,0	NBR 5592 ASTM D4052
Teor alcoólico	°INPM	92,6 a 93,8	NBR5592
Potencial hidrogeniônico	pH	6,0 a 8,0	NBR 10891
Resíduo por evaporação máx.	mg/100ml	5	NBR 8644
Teor de hidrocarbonetos, máx.	% em volume	3,0	NBR 13993
Íon Cloreto, máx.	ml/Kg	1	NBR 10894 NBR 10895 ASTM D512
Teor de etanol, mín.	% em volume	95,1	ASTM D5501
Íon Sulfato, máx.	mg/Kg	4	NBR 10894 NBR 12120
Ferro, máx.	mg/Kg	5	NBR 11331
Sódio, máx.	mg/Kg	2	NBR 10422
Cobre, máx.	mg/Kg	não tem	NBR 10893

O uso do AEHC como combustível associa vantagens e desvantagens.

Segundo OWEN *et al* (1990), o álcool queima mais rápido que a gasolina e permite a evolução do momento de força (torque) de forma mais eficiente, além de gerar maiores pressões durante a combustão no cilindro.

O etanol tem uma excelente propriedade anti-detonante para motores com altas taxas de compressão. Uma consequência importante é a possibilidade de uso de maiores razões de compressão nos motores que, potencialmente aumentam suas eficiências indicadas.

A principal desvantagem está no desgaste do motor entre os anéis do pistão e o cilindro. Conforme OWEN *et al* (1990), há duas linhas que permitem explicar o desgaste. A primeira relata que parte da camada do filme de óleo pode ser “lavada” pelo álcool durante a partida a frio. A segunda explica que o desgaste dos anéis do pistão com o cilindro é decorrente dos ácidos fórmico e perfórmico formados durante a combustão, que poderia corroer o aço.

As pressões de vapor dos hidrocarbonetos na gasolina são em grande parte superiores à do etanol. Por isso, o sistema de partida a frio requer auxílio de combustíveis com cadeias de carbono menores para facilitar o acionamento inicial do motor. A energia necessária para vaporizar o etanol é, em grande parte, superior àquela necessária aos hidrocarbonetos presentes na gasolina. Portanto, a partida a frio é mais difícil quando se utiliza somente o E100.

Dependendo da temperatura ambiente, o período de tempo necessário para o aquecimento de um motor movido a etanol é maior do que aqueles movidos a gasolina. O baixo poder calorífico do etanol requer tanques de combustíveis maiores ou freqüentes abastecimentos (POULTON, 1994).

Outro fator que deve ser levado em consideração é que o álcool, comparado com a gasolina, tem baixas viscosidade e lubricidade que podem causar desgastes excessivos no sistema de alimentação.

2.6 Solventes

Os solventes são produtos que tem a capacidade de dissolver outros produtos sem modificar-lhes as propriedades químicas (ANP, 1999). Os grupos de hidrocarbonetos usados supostamente na adulteração da gasolina enquadram-se nesta classificação e se sub-classificam em, parafínicos, alifáticos, naftênicos e aromáticos.

Os alifáticos são solventes de cadeias abertas ou fechadas saturadas que possuem poderes de solvência e volatilidade relativamente baixos. Exemplos de alifáticos são: aguarrás, hexano, querosene e solvente de borracha. Devido às suas características, a adição desses solventes na gasolina C é de identificação rápida e simples por meio da curva de destilação.

Os naftênicos têm poder de solvência maior e menor volatilidade que os alifáticos, além de um elevado número de octanas.

Os aromáticos baseiam-se em anel insaturado de seis átomos de carbono e tem um poder de solvência e odor superior aos alifáticos. Exemplos de aromáticos são: benzeno, tolueno e xileno. Os solventes aromáticos adicionados na gasolina C geram uma formulação mais eficiente à primeira percepção, devido ao maior número de octanas que incorpora ao combustível.

Sendo a gasolina formada por uma grande variedade de naftas e como os solventes do grupo dos hidrocarbonetos se originam também de naftas, a adição dentro de certos limites de um determinado teor de um solvente à gasolina como, por exemplo, o xileno, não deverá comprometer a qualidade do combustível (ANP, 1999).

2.6.1 Os solventes na Gasolina C

Conforme a tabela abaixo, alguns solventes podem ser adicionados à Gasolina C sem uma detecção prévia, por exemplo, com a análise do teor alcoólico. Porém, as propriedades químicas fora de especificação são facilmente identificadas com uma análise da curva de destilação.

Danos maiores só serão observados após vários abastecimentos com combustível adulterado. Rendimento insatisfatório, perda da potência do motor, aumento no consumo são sintomas considerados de curto prazo (SOUZA NETO *et al*, 2005).

A Tabela 4 busca mostrar a influência da presença de alguns tipos de solventes na curva de destilação e na octanagem da Gasolina C.

Tabela 4. Comparação da destilação e a octanagem da Gasolina C com alguns tipos de solventes (ANP, 1999).

Destilação	Gasolina C		Diluentes de tintas	Solvente borracha	Solvente para extração n°5	Xileno	Tolueno
	ANP	Média					
Ponto Inicial de Ebulição	-	-	107	52	71	135	110,2
10%	70	57	118	71	81	137	-
50%	140	100	122	88	87	138	110,5
90%	200	175	131	113	101	140	-
Ponto Final de Ebulição	220	212	142	128	120	153	111
Resíduo %	2,0	-	1,5	1,0	1,0	-	-
MON	80 (min)	82	51.4*	62.5*	61.8*	102,5	103,5
RON	94	94	70.7*	78.5*	92.7*	116,4	120
(RON + MON) / 2	87 (min)	88	61	70,5	77,3	111	112

* Cálculos teóricos conforme correlação de octanagem com ponto de ebulição médio para naftas de destilação direta em Nelson – Petroleum Refinery Engineering 4ª edição. Ponto de ebulição médio de acordo com o método de Maxwell para frações leves de petróleo.

A contaminação ao meio ambiente devida à emissão de poluentes, e até a evaporação do combustível adulterado no abastecimento do veículo pode comprometer a saúde de quem manuseia esse produto.

Os hidrocarbonetos parafínicos e aromáticos são utilizados na adulteração de gasolina por solventes. Os solventes parafínicos não são detectados facilmente, pois são compostos que está na mesma faixa de destilação da gasolina (AZEVEDO *et al.*, 2004). Dessa forma, dependendo do solvente a ser adicionado à gasolina, é possível uma adulteração mais complexa de modo que a análise da gasolina dificilmente será identificada em alguma irregularidade.

Segundo estudo de Almeida *et al* (2003), é possível formular uma Gasolina C utilizando os solventes comercializados no mercado nacional sem a necessidade de ao menos fazer uma mistura com a própria Gasolina C.

No Gráfico 13 há uma mistura de solventes que consegue alcançar uma curva de destilação especificada pela ANP na formulação da Gasolina C. Dessa maneira, os marcadores de solventes são essenciais para inibir a prática comum na adulteração da Gasolina C.

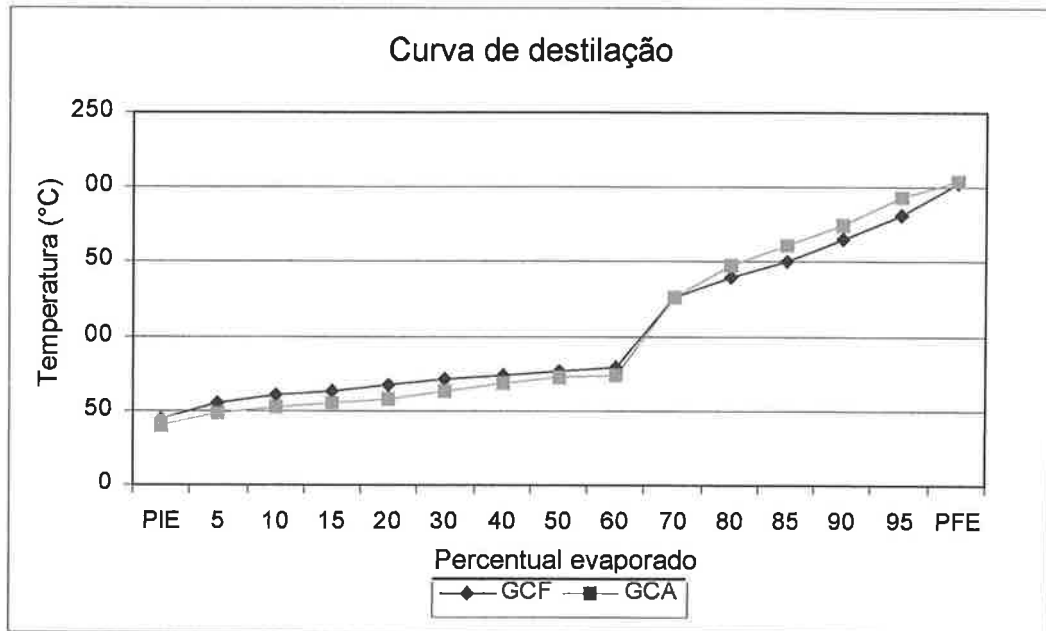


Gráfico 13: Comparativo de curvas de destilação para gasolina formulada com solventes (GCF) e gasolina tipo "C" comum (GCA) (ALMEIDA *et al*, 2003).

2.6.2 O solvente C-9

Em estudo realizado por Takeshita (2006), é possível fazer misturas de Gasolina C com até 30% de adição de solvente AB-9, 20% de solvente de aguarrás e 2% de óleo diesel, sem que sejam detectados pelos testes efetuados pela ANP.

A curva de destilação do solvente AB9, também conhecido como C-9 por ser uma cadeia molecular média com nove átomos de carbono, apresenta uma curva de destilação estreita, conforme a Tabela 5, de modo que a adição na Gasolina C, em quantidades controladas, permite uma adulteração complexa para identificação.

O solvente C-9 pertence aos hidrocarbonetos aromáticos e tem grande resistência à detonação. Em contra partida, há a tendência de gerar mais depósitos de carbono durante a queima no motor e, conseqüentemente, a emissão de mais fumaça.

Na coleta de cinquenta amostras no estado da Bahia no estudo realizado por Oliveira *et al* (2004), onze amostras estavam fora da especificação. Porém, quatro delas estavam em conformidade com o método e especificação da ANP.

Tabela 5: Curva de destilação do solvente AB9 (TAKESHITA, 2006)

Volume destilado (%)	Temperatura °C
Ponto inicial de ebulição	155,1
5%	160,4
10%	160,9
15%	161,2
20%	161,4
30%	161,8
40%	162,2
50%	162,8
60%	163,4
70%	164,0
80%	164,9
85%	165,5
90%	166,5
95%	168,6
Ponto final de ebulição	174,4
Resíduo (ml)	1,5
Recuperado (%Vol.)	97,5
Perdas (ml)	1,0

2.6.3 O marcador no solvente

Para coibir a utilização de solventes como, por exemplo, o C-9, foi criada a Portaria da ANP nº. 274/2001, a utilização de marcador com uma quantidade inferior a 1 ppm em todos os solventes comercializados no território nacional.

Dependendo da utilização do solvente há algumas exceções na introdução de marcadores. Dessa maneira, o número de exceções na marcação de solventes dificulta o controle pela ANP na comercialização do produto. O próprio produtor determina quais caminhões serão ou não marcados conforme o destino do solvente (MENDES, 2008).

2.6.4 Aplicação dos solventes no mercado nacional

Os principais solventes encontrados no mercado nacional e suas aplicações são: solvente para borracha, utilizado para tintas, adesivos, colas, borracha, cera,

thinner, resinas, lacas e limpeza; xileno ou xilol para tintas, adesivos, colas, borracha, lubrificantes, verniz, massa rápida, primmer, têxtil, pesticidas e química; tolueno ou toluol para tintas, adesivos, colas, borracha, verniz, esmalte, colas de neoprene, lubrificantes, explosivos, massa rápida, primmer, lacas, thinner, selantes e química; benzeno ou benzol para plástico, têxtil, química e farmacêutica; hexano para tintas, adesivos, colas, borracha, ceras, desengraxantes, couro, thinner e seladura; diluente de tintas para tintas automotivas, thinner, gráfica e nitrosintéticas; solvente para extração nº5 para dissolvente de borracha, removedor de manchas gordurosas, diluentes de tintas e vernizes, adesivos e fitas adesivas; refinado petroquímico para adesivos e colas; AB-9 ou C-9 para tintas, adesivos, colas, borracha, resinas, lacas, massa rápida e primmer; AB-10 para tinta automotiva, borracha, thinner, resinas e lacas; aguarrás para tintas, borracha, primmer, cera, massa rápida e de polimento, thinner, têxtil, limpeza e lavagem a seco; querosene para tintas, adesivos, colas para calçados, thinner, limpeza, lubrificantes e graxa; Signal Oil para tintas gráficas, lubrificantes e graxas.

3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Para atingir os objetivos gerais e específicos foram adotados os seguintes procedimentos.

3.1 Seleção dos motores de combustão interna

Os motores selecionados para a realização desse trabalho, em número de três foram motores carburados de 125 cm³ de cilindrada, sem dispositivos de pós-tratamento, que equipam motocicletas. Foram retirados da linha de montagem no mesmo período de fabricação (outubro de 2006), sendo que já eram de modelo 2007.

O mesmo carburador, a mesma vela de ignição e o mesmo conjunto filtrante para de ar foram usados nos três motores no período de amaciamento, buscando reduzir a interferência das tolerâncias de fabricação desses componentes no desempenho dos motores. Também se utilizou o mesmo escapamento para os três motores com a inclusão de uma sonda lâmbda para medição da relação ar-combustível. O escapamento não apresenta catalisador e nem sistema de indução de ar.

Nos testes de durabilidade, cada motor utilizou um carburador e uma vela de ignição com a mesma especificação de fábrica para o combustível E25. Os três carburadores, um para cada motor, foram enquadrados numa mesma especificação. A caixa, o filtro de ar e o escapamento do período de amaciamento foram mantidos.

3.2 Parâmetros do motor de 125cc para motocicleta

O motor utilizado no experimento é fornecido para três modelos e sete versões nacionais, entre outras para exportação, produzida pela Yamaha Motor da Amazônia Ltda.

O sistema de lubrificação é projetado de forma que o óleo do motor é utilizado para lubrificar o sistema de transmissão, sistema de embreagem e o próprio sistema de propulsão.

Na região inferior da carcaça do motor, local onde fica a transmissão, existe um respiro sem válvula conectado na caixa do filtro de ar fazendo com que os gases que passam pelo respiro do motor se dirijam para a caixa do filtro de ar. Desta forma,

os gases de *blow-by* provenientes do motor são queimados na câmara de combustão antes de ser eliminados para o ambiente, como apresentado na Figura 5.

O filtro de ar não requer substituição, somente limpeza. É composto por uma tela metálica e por duas espumas umedecidas com óleo do motor nas verificações e limpezas periódicas, como mostra na Figura 6. No fundo da caixa filtro de ar há uma mangueira de dreno para eliminação, durante as revisões periódicas, do óleo lubrificante acumulado.

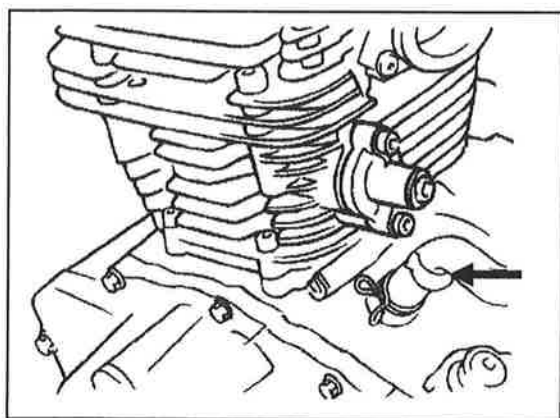


Figura 5: Respiro do cárter do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

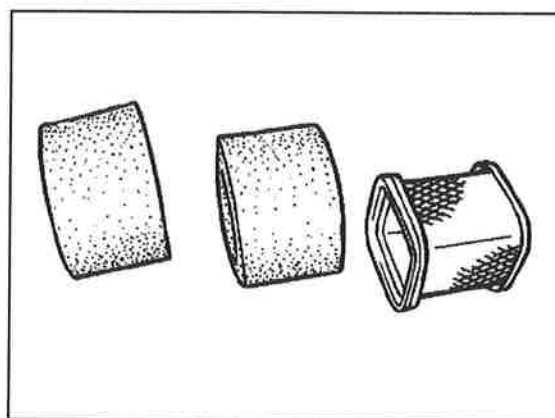


Figura 6: Filtro de ar (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

O óleo é filtrado por um filtro rotativo (que não exige manutenção), como apresenta a Figura 7 e 8, que tem a mesma rotação do virabrequim, está fixado ao próprio eixo e impede que partículas do óleo passem pelo filtro, utilizando o princípio da inércia.

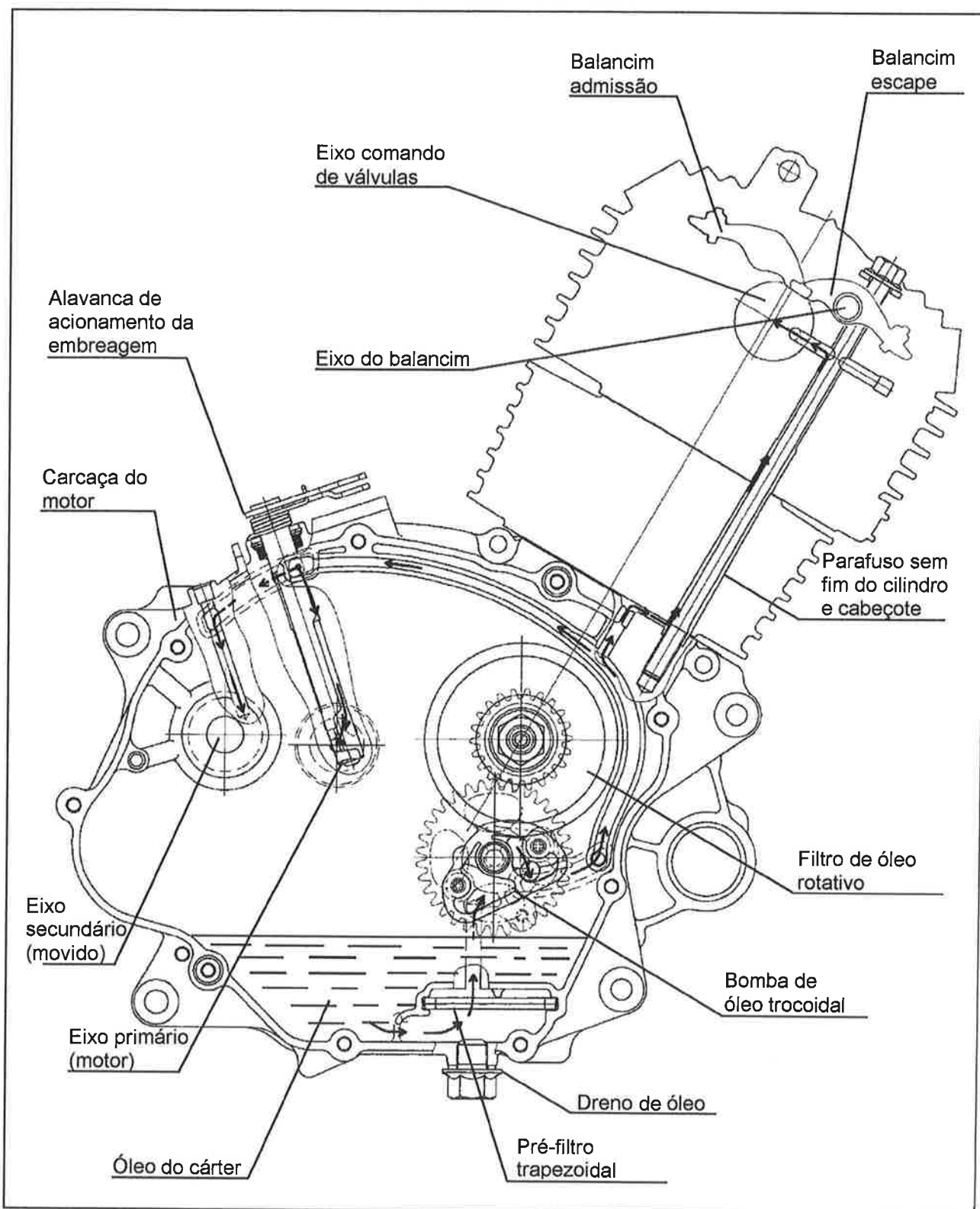


Figura 7: Vista lateral direita do sistema de lubrificação do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

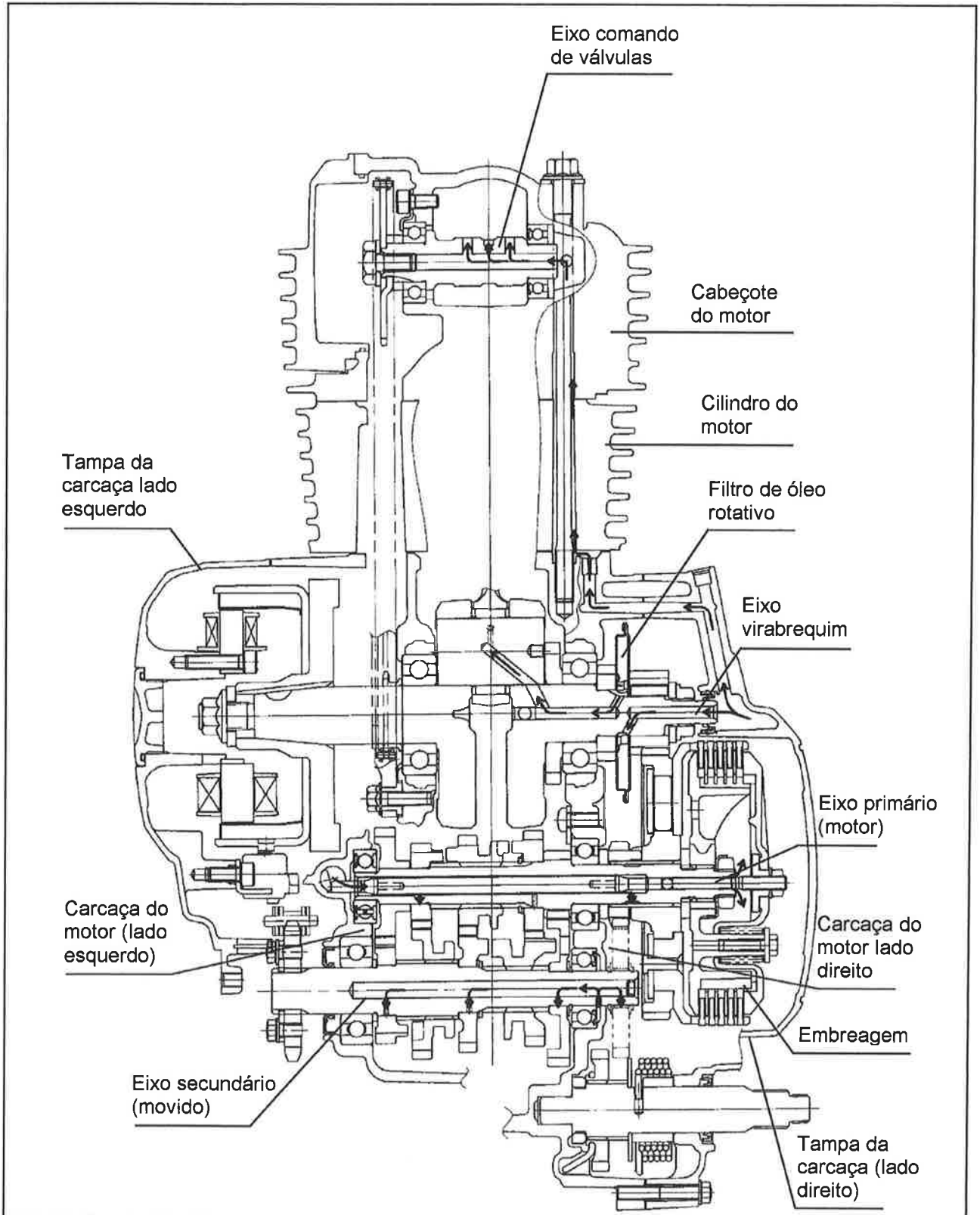


Figura 8: Vista frontal do sistema de lubrificação do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

O fornecimento da mistura combustível-ar é feita por um carburador, como mostra na Figura 9, cujo acelerador aciona o pistone de venturi variável que define as quantidades de ar e de combustível dosado, conforme a solicitação do motor.

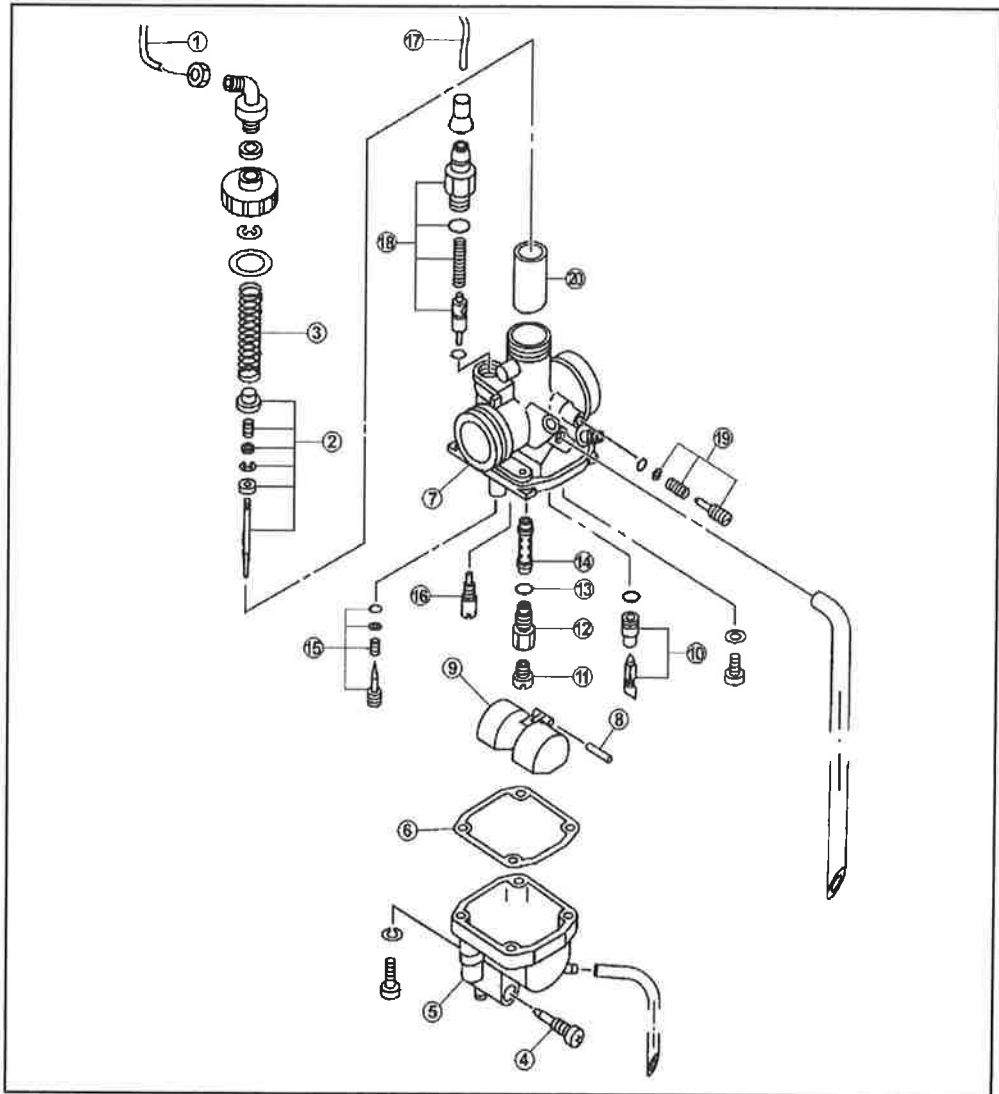


Figura 9: Vista explodida do carburador (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Legenda:

1. Cabo do acelerador
2. Conjunto agulha do pistonete
3. Mola do pistonete
4. Parafuso de dreno
5. Cuba do carburador
6. Junta da cuba
7. Corpo do carburador
8. Pino da bóia
9. Bóia da cuba

10. Conjunto da válvula de agulha
11. Giclê de alta carga
12. Difusor 1
13. Anel de borracha do difusor
14. Difusor 2
15. Parafuso de mistura ar e combustível
16. Giclê de baixa carga
17. Cabo do afogador
18. Conjunto do afogador
19. Parafuso da marcha lenta
20. Pistonete

O motor dispõe de um único par cilindro e pistão (monocilíndrico), conforme mostra a Figura 8. O sistema de acionamento das válvulas é do tipo SOHC (*Single Overhead Camshaft*), sendo que há somente uma válvula de admissão e outra de escape; ambas são reguladas por uma porca localizada no balancim. O motor é do tipo

quadrado, ou seja, o curso do cilindro e o diâmetro do pistão têm a mesma medida (54 mm). A razão (ou taxa) de compressão é de 10:1.

Embora o modelo atual esteja enquadrado na transição das fases II e III do programa de emissão de poluentes PROMOT, o estudo levou em consideração a fase I para que os gases poluentes pudessem ser analisados sem a interferência de catalisadores e sistemas de indução de ar que têm a finalidade de reduzir a emissão dos gases poluentes.

Os três motores testados são combinações de dois motores em linha de produção, isto é, o sistema de propulsão pertence a um modelo 125cc para utilização fora de estrada, enquanto que o sistema de alimentação e escape são de motocicletas para utilização urbana, e não caracteriza um arranjo comercial.

3.3 Verificações na montagem dos motores

Após a montagem do motor, utilizando juntas novas nas tampas laterais, no cilindro e cabeçote bem como junta líquida entre as carcaças, é verificado e certificado que todas as medidas estão dentro das especificações do fabricante.

Na montagem verifica-se a vedação da base das válvulas de admissão e escape, ponto do motor, folga das válvulas, altura da bóia da cuba do carburador e compressão do motor.

A vedação da sede da válvula de admissão e escape deve ser verificada com o cabeçote na posição horizontal e preenchimento das câmaras de admissão e de escape com gasolina, conforme mostra a Figura 10.

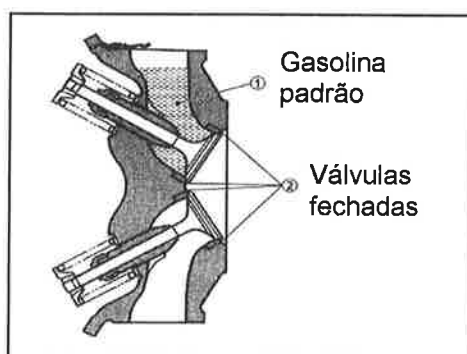


Fig. 10: Vedação das válvulas (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Concluído o ajuste do ponto de ignição do motor, o próximo passo é ajustar as folgas das válvulas de admissão e escape. Essa etapa deve ser realizada com o motor frio, conforme o manual de serviço do modelo.

Antes de realizar a medição da pressão de compressão do motor, foi verificada a altura da cuba do carburador com o motor fixado na base do dinamômetro.

Após o amaciamento, utilizando a mesma vela de ignição para os três motores, é instalada uma vela de ignição nova para cada motor e verificada a folga do eletrodo. No final de cada ciclo de durabilidade, deve-se verificar a coloração e o desgaste dos eletrodos da vela de ignição.

A última etapa das medições é a verificação da compressão do motor que deve ser refeita após o amaciamento e no final de cada ciclo no dinamômetro de bancada. Após um rápido aquecimento por um período de 5 minutos e a limpeza da região da vela de ignição com ar comprimido, é instalado o manômetro medidor de compressão (1) na rosca da vela, conforme mostra a Figura 11. Com o acelerador todo acionado, o motor é posto em funcionamento com o auxílio do motor ou pedal de partida até que a pressão se estabilize para a realização da medição.

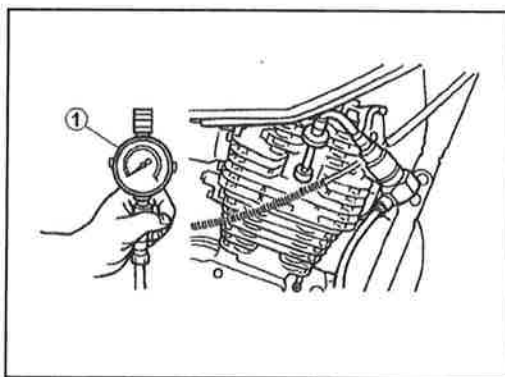


Fig. 11: Medição da pressão de compressão do motor (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

3.4 Definição da mistura Gasolina C com AEHC

Segundo os relatórios mensais da ANP, a adição do AEHC na gasolina C é uma das práticas de adulteração mais comuns. Nesse estudo teremos a gasolina padrão com 25% de AEAC e mais a adição de 15% de AEHC (E40).

A opção pela adição de 15% de AEHC leva em conta que essa quantidade não prejudica momentaneamente o desempenho do veículo. A marcha lenta fica estável utilizando E40 com o carburador especificado para Gasolina C (E25), porém a

rotação que deveria ser de 1.400 +/- 100 rpm, fica entre 1.000 +/- 100 rpm com o motor aquecido. Há mais dificuldade ao dar a partida a frio se comparado com a Gasolina C, mas não a ponto do motor não funcionar.

Para adicionar AEHC na Gasolina C, foi feita uma mistura de AEAC com água destilada com a maior quantidade permitida na especificação do AEHC, que é de 7,4% de água destilada em massa conforme a resolução ANP nº. 36 de 06 de dezembro de 2005.

3.5 Definição da mistura Gasolina C e o solvente C-9

A segunda maneira mais usual na adulteração da gasolina C está na adição de solvente. Neste estudo foi selecionado o solvente Best Solv 9, utilizado na formulação de "thinners" para secagem lenta de tintas e esmaltes sintéticos. Esse solvente também é conhecido como Alquilbenzeno 9 ou solvente C-9. Sua fórmula genérica é C_9H_{12} e trata-se de uma mistura complexa de hidrocarbonetos aromáticos. A composição típica em porcentagem em massa é de: 38,6% de etil – tolueno, 36,6% de tri – metil – benzeno, 12,1% de n – propil – benzeno, 9,8% de Indano, 1,7% de iso – propil – benzeno, 0,6% de dietil – benzeno e 0,6% de C8 aromáticos.

Para se definir a quantidade em massa desse solvente a ser adicionado à gasolina C, adotou-se o critério de continuar satisfazendo a especificação da Gasolina C estabelecida na resolução ANP nº. 309 de 27 de dezembro de 2001.

A mistura obtida será caracterizada pela realização dos seguintes ensaios: cor, aspecto visual, teor de álcool (NBR 13992-97), massa específica a 20°C (ASTM D 4052-02e1), destilação (ASTM D 86-07a), corrosão (ASTM D 130-04), enxofre total (ASTM D 4294-03), período de indução, (ASTM D 525-01), pressão de vapor (ASTM D 5191-04a), goma atual (ASTM D 6277-01), benzeno (ASTM D 6277-01) e detalhamento dos percentuais de aromáticos, olefinas e saturados (DHA-PIANO).

3.6 Procedimento para a mistura dos combustíveis

A gasolina padrão, o AEAC e o solvente C-9 foram adquiridos em tambores de 200 litros. A gasolina padrão, mesmo combustível utilizado na homologação de emissões de poluentes de veículos, foi adquirida diretamente da Petrobras, enquanto que o solvente C-9 e o AEAC foram adquiridos por distribuidoras.

Para a formulação dos combustíveis, são utilizados tambores novos de 20 litros com tampa rosqueada. Os tambores eram revestidos internamente com epóxi fenólico, como os usados para transporte aéreo de combustível.

A gasolina padrão, o AEAC e o solvente C-9 foram fornecidos em tambores de 20 litros.

Outro tambor novo de 20 litros foi adquirido para armazenar as misturas. Após o esvaziamento de cada tambor foi inspecionado o revestimento interno. Caso fossem identificadas alterações no revestimento, o tambor era substituído por um novo.

As misturas dos combustíveis foram preparadas com o auxílio de uma bomba manual de sucção com mangueira, marca Miyake, modelo BD-type, de vazão de 6,5 a 10 l/min, um funil e duas probetas graduadas, uma de 2.000 mililitros e outra de 200 mililitros.

Preferencialmente, as misturas eram preparadas no dia do consumo com o objetivo de evitar que fenômenos como a oxidação pudessem interferir nos resultados dos ensaios.

Depois de concluída a formulação da mistura, ela era armazenada por pelo menos trinta minutos antes do abastecimento do reservatório de 16 litros em aço com tratamento superficial em zinco.

A extensão do funil na preparação, colocado no bocal do tambor de mistura, era o indicador que a quantidade de combustível estava correta no tambor de 20 litros.

A formulação da gasolina E25 foi realizada a partir de 12 litros de gasolina padrão e 4 litros de AEAC. Para a formulação da gasolina adulterada com solvente, foram misturados 3,2 litros de C-9, 8,8 litros de gasolina padrão e 4 litros de AEAC. Na formulação da gasolina E40 foram utilizados 9,6 litros de gasolina padrão, 6,232 litros de AEAC e 0,168 litro de água destilada.

A água destilada utilizada no combustível E40 refere-se a 7% em volume somente dos 15% da mistura do AEAC. Dessa forma, tratava-se de uma mistura de 25% de AEAC com 15% de AEHC formulado.

3.7 Ensaios no dinamômetro de bancada

Para avaliar a durabilidade dos motores em dinamômetro de bancada, calculou-se o número de horas que uma motocicleta demoraria para percorrer uma distância de 3.000 quilômetros, valor intermediário entre as revisões periódicas

conforme as orientações do manual do proprietário do modelo. O amaciamento foi realizado considerando um percurso de 478 quilômetros (conforme Tabela 6), metade do valor que consta no manual do proprietário. O ciclo de amaciamento era composto por um período de 60 minutos de funcionamento em marcha lenta, 150 minutos em carga parcial (com metade do acelerador aberto) e 270 minutos com o acelerador aberto em rotações de funcionamento conseguidas com a utilização da quinta marcha.

Considerando que a transmissão primária, entre a engrenagem primária do virabrequim e a campana da embreagem possui engrenagens com, respectivamente, 19 e 68 dentes, tem-se uma relação de transmissão de 3,579:1. O câmbio de cinco marchas possui relações de transmissão de 2,642 para primeira marcha, 1,777 para a segunda marcha, 1,315 para a terceira marcha, 1,045 para a quarta marcha e 0,875 para a quinta marcha. Por último, a transmissão secundária por corrente é composta por um pinhão e uma coroa que possuem, respectivamente, 14 e 43 dentes (relação de 3,071:1). O perímetro da roda é de 1,93 m, a massa do veículo em ordem de marcha (EOM) é de 188 quilogramas e o pneu traseiro é calibrado com uma pressão efetiva de 2,0 kgf/cm².

Para o cálculo da distância percorrida, utilizou-se as equações 1 e 2:

$$V = \frac{p \times N \times 60}{1000 \times I} \quad (1) \qquad D = V \times t \quad (2)$$

onde:

- perímetro do pneu $p = 1,93$ m
- relação total de engrenamento para segunda marcha $I_2 = 19,43$
- relação total de engrenamento para terceira marcha $I_3 = 14,38$
- relação total de engrenamento para quarta marcha $I_4 = 11,43$
- relação total de engrenamento para quinta marcha $I_5 = 9,56$
- rotação do motor N em rpm
- velocidade V em quilômetros por hora (km/h)
- distância percorrida D em quilômetros
- intervalo de tempo t em horas

Dessa maneira, a distância percorrida associada ao amaciamento, em função das rotações e dos engrenamentos utilizados estão relacionadas na Tabela 6.

A execução do amaciamento deve acontecer no mesmo período para os três motores, cumprindo o protocolo estabelecido na Tabela 6. A vela de ignição, o conjunto caixa filtro de ar, o escapamento e o carburador são os mesmos utilizados em todo o amaciamento.

As temperaturas do óleo no cárter e na base da vela da ignição foram monitoradas em todo ciclo para que os motores tivessem o mesmo padrão de amaciamento.

Tabela 6. Amaciamento dos três motores com gasolina E25.

Marcha	Condição	RPM do motor	Relação de transmissão (i)	Velocidade da Motocicleta (Km/h)	Duração (horas)	Quilometragem
MANTER EM MARCHA LENTA DURANTE 1 HORA						
5ª	1/2 acelerador aberto	4.000	9,56	48,44	0,5	24,22
5ª	1/2 acelerador aberto	4.500	9,56	54,49	0,5	27,25
5ª	1/2 acelerador aberto	5.000	9,56	60,55	0,5	30,27
5ª	1/2 acelerador aberto	5.500	9,56	66,60	0,5	33,30
5ª	1/2 acelerador aberto	6.000	9,56	72,66	0,5	36,33
5ª	Acelerador aberto	4.000	9,56	48,44	0,5	24,22
5ª	Acelerador aberto	4.500	9,56	54,49	0,5	27,25
5ª	Acelerador aberto	5.000	9,56	60,55	0,5	30,27
5ª	Acelerador aberto	5.500	9,56	66,60	0,5	33,30
5ª	Acelerador aberto	6.000	9,56	72,66	0,5	36,33
5ª	Acelerador aberto	6.500	9,56	78,71	0,5	39,36
5ª	Acelerador aberto	7.000	9,56	84,77	0,5	42,38
5ª	Acelerador aberto	7.500	9,56	90,82	0,5	45,41
5ª	Acelerador aberto	8.000	9,56	96,88	0,5	48,44
Total Amaciamento					7,00	478,34

O teste de durabilidade foi feito em três ciclos de 36 horas cada, totalizando 108 horas. Cada motor funciona com seu respectivo combustível, isto é, Gasolina C (E25), gasolina adulterada com a adição de solvente (C-9); e por último a gasolina adulterada com a adição de AEHC (E40).

Dessa maneira, a distância total percorrida durante os testes de durabilidade de cada motor é mostrada na Tabela 7.

Antes de iniciar cada ciclo dos motores, era feita uma revisão periódica. Esta revisão engloba a verificação do ponto de ignição do motor, a folga de válvulas, as condições do filtro de ar, a folga do eletrodo da vela de ignição, o nível de combustível na cuba do carburador, a compressão do motor e o consumo total de óleo lubrificante, incluindo a quantidade encontrada na caixa do filtro de ar.

Cada ciclo do ensaio de durabilidade foi realizado no período de 4 dias (aproximadamente nove horas por dia).

As revisões e o levantamento das curvas de potência foram feitas no último dia da semana.

Tabela 7. Durabilidade dos três motores com os respectivos combustíveis.

1º CICLO

Marcha	Condição	RPM do motor	Relação de transmissão (i)	Velocidade da Motocicleta	Duração (horas)	Quilometragem
2ª	Torque máximo	6.500	19,43	38,74	1,5	58,11
3ª	Torque máximo	6.500	14,38	52,34	6	314,07
4ª	Torque máximo	6.500	11,43	65,88	5	329,40
4ª	Potência máxima	8.500	11,43	86,15	5	430,75
5ª	Potência máxima	8.500	9,56	102,93	7	720,53
5ª	Velocidade máxima	8.107	9,56	98,17	10	981,74
5ª	Super rotação	9.350	9,56	113,23	1,5	169,84
Sub-total Durabilidade					36,00	3.004,45

2º CICLO

Marcha	Condição	RPM do motor	Relação de transmissão (i)	Velocidade da Motocicleta	Duração (horas)	Quilometragem
2ª	Torque máximo	6.500	19,43	38,74	1,5	58,11
3ª	Torque máximo	6.500	14,38	52,34	6	314,07
4ª	Torque máximo	6.500	11,43	65,88	5	329,40
4ª	Potência máxima	8.500	11,43	86,15	5	430,75
5ª	Potência máxima	8.500	9,56	102,93	7	720,53
5ª	Velocidade máxima	8.107	9,56	98,17	10	981,74
5ª	Super rotação	9.350	9,56	113,23	1,5	169,84
Sub-total Durabilidade					36,00	3.004,45

3º CICLO

Marcha	Condição	RPM do motor	Relação de transmissão (i)	Velocidade da Motocicleta	Duração (horas)	Quilometragem
2ª	Torque máximo	6.500	19,43	38,74	1,5	58,11
3ª	Torque máximo	6.500	14,38	52,34	6	314,07
4ª	Torque máximo	6.500	11,43	65,88	5	329,40
4ª	Potência máxima	8.500	11,43	86,15	5	430,75
5ª	Potência máxima	8.500	9,56	102,93	7	720,53
5ª	Velocidade máxima	8.107	9,56	98,17	10	981,74
5ª	Super rotação	9.350	9,56	113,23	1,5	169,84
Sub-total Durabilidade					36,00	3.004,45
Total Durabilidade					108,00	9.013,35

3.8 Acompanhamento do óleo lubrificante

O experimento incorpora o monitoramento do óleo lubrificante do motor em toda sua extensão. Para tanto, uma caixa com 24 frascos de um litro de óleo de quatro tempos da marca Yamalube 20W50, API SL, JASO MA, datada de 22/06/2007, foi separada para todo o experimento (código do óleo 90793-AB401 e código da caixa 50931).

Após o amaciamento do motor, na primeira troca de óleo, foram adicionados 890 gramas de óleo no cárter de cada um dos motores. Na fase final do amaciamento e nos três ciclos do ensaio de durabilidade, foram coletadas dez amostras para cada motor.

Em cada ciclo foram retiradas amostras em frascos de 100 mililitros para os primeiros quinze minutos, após dezoito horas e finalmente com trinta e seis horas. As coletas intermediárias e a final foram feitas com, no mínimo, 60°C de temperatura do óleo no cárter.

Nessas condições, efetuam-se medições gerais nos primeiros minutos de funcionamento, na metade e no final dos blocos de 36 horas. Dessa forma pretende-se avaliar o desgaste de cada motor ao longo de cada ciclo da durabilidade com os combustíveis determinados para cada teste.

Cada ciclo de 36 horas equivale a um percurso de três mil quilômetros. Essa quilometragem representa o período da troca do óleo lubrificante do motor. Para verificar os desgastes do óleo e do motor ao longo do ciclo, foi definida a realização da medição do óleo novo, do óleo após dez minutos, dezoito horas e 36 horas.

Após o término de cada ciclo, o óleo foi trocado e foram adicionados novamente 890 gramas no cárter. A troca do óleo lubrificante é feita após aquecer o óleo do cárter a temperatura de 60°C. O escoamento do óleo tem a duração de trinta minutos. Após esse período de tempo, o parafuso de dreno do cárter foi instalado.

Cada amostra retirada foi pesada e a mesma quantidade em massa é repostada. No período da manhã, antes do motor iniciar a durabilidade, era verificado o nível de óleo. Caso estivesse abaixo do nível máximo, o nível do óleo lubrificante era restabelecido e anotada a quantidade em massa adicionada.

As propriedades do óleo lubrificante analisadas foram:

- índice de viscosidade (D-2270);
- número de basicidade total em miligrama por KOH/g (D-2896);
- viscosidade a 40°C (D-445);
- viscosidade a 100°C (D-445);
- viscosidade a 150°C (D-445);
- número de acidez total em miligrama por KOH/g (D-664);
- porcentagem em massa de água (D-95);
- oxidação, nitração e presença de sulfatos em Abs/cm (IT-BTC-110M);
- porcentagem de gasolina e álcool CG (D-3525), e
- análise espectrométrica – EEO em ppm de alumínio, cobre, ferro, silício e zinco.

3.9 Procedimento para a coleta do óleo lubrificante

O motor devia estar com, no mínimo, 60°C de temperatura do óleo lubrificante no cárter para certificar que o óleo estivesse homogeneizado.

Para a coleta era necessária uma bomba manual de sucção de marca Catterpillar e uma mangueira nova descartável, ambas sem a presença de qualquer contaminantes e seca interna e externamente.

A mangueira devia ter uma medida aproximadamente de trinta centímetros e um frasco especial para coleta de amostras.

O frasco é constituído por um batoque (tampa bolha), uma tampa com rosca e um recipiente de 150 mililitros novo, sem a presença de contaminantes e descartável.

Antes da coleta era necessária uma limpeza externa na região próxima ao medidor do nível de óleo, local que é retirada a amostra para a análise em laboratório.

Coletava-se cem mililitros de óleo e a massa do recipiente era medida. Em seguida, era reposta a mesma quantidade de óleo de mesma especificação e lote de produção.

Buscou-se evitar o contato da mangueira de coleta com a carcaça interna e externa do compartimento.

Logo após a retirada, o recipiente com o batoque e tampa era fechado e identificado com os dados do motor e o número de horas de trabalho.

3.10 Levantamento das curvas de potência e torque, consumo e emissão de poluentes

Após o amaciamento foram levantadas três curvas de potência e torque, bem como medições de gases CO₂, CO e HC de escapamento para cada motor com Gasolina C, totalizando nove curvas. As curvas foram levantadas na quinta marcha, com o acelerador totalmente aberto, com início a 9.000 rpm e término a 3.500 rpm e com discretização de 500 rpm entre cada medição. O óleo era mantido com, no mínimo, 60°C durante a medição.

Uma análise estatística foi empregada sobre o conjunto de resultados dos nove ensaios. Foram obtidas as médias, os desvios-padrão e as incertezas com nível de confiança de 95% a cada 500 rpm usando a distribuição t de Student.

Com a verificação que os resultados encontravam-se entre os limites mínimo e máximo das curvas de potência, torque e concentrações dos gases CO₂, CO e HC, iniciou-se o primeiro ciclo do teste de durabilidade de cada motor.

Os valores das curvas de potência e torque são apresentados neste trabalho em porcentagens devido ao contrato de sigilo das informações firmado com a empresa patrocinadora e principal beneficiada desse experimento.

O levantamento da curva de potência foi feito conforme a orientação da norma NBR 1585.

Antes de iniciar as medições, verificou-se:

- o ponto estático de ignição do motor entre o magneto e a engrenagem do cabeçote,
- a folga de 0,6 a 0,7 milímetros entre os eletrodos da vela de ignição,
- a medida das folgas de válvulas entre 0,08 a 0,12 milímetros para admissão e entre 0,10 a 0,14 milímetros para escape,
- o nível do óleo do motor por meio da vareta de medição,
- a posição da bóia de combustível entre 6 a 7 milímetros,
- acelerador completamente acionado e quinta marcha engrenada.

No ambiente da sala mediu-se a temperatura, a umidade e a pressão atmosférica. Além disso, fez-se o monitoramento da temperatura do motor na base da vela de ignição, no parafuso de dreno de óleo e na entrada da caixa do filtro de ar. A rotação do motor foi medida por tacômetro digital conectado no cabo da vela de ignição.

A medição dos gases de escape segue a mesma seleção dos gases da inspeção veicular pela lei municipal de São Paulo 14.717 e decreto número 49.463.

3.11 Análise estatística usando a distribuição t de Student

A partir de três (quantidade mínima necessária para realizar a análise estatística) levantamentos de curvas de desempenho para cada motor, foram calculadas para cada ente de interesse:

- a média aritmética 3:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + x_n) \quad (3)$$

Onde: \bar{X} = média aritmética
 n = número de amostras
 x = valor medido

- o desvio padrão 4:

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \right]} \quad (4)$$

Onde: σ = desvio padrão
 \bar{X} = média aritmética
 n = número de amostras
 xi = valor medido

- a incerteza 5:

$$E = \sigma \cdot t_{\alpha/2} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Onde:

E = incerteza

n = número de amostras

$t_{\alpha/2}$ = valor obtido para a distribuição t de Student com grau de liberdade (n – 1) e grau de confiança de 95%

Dessa maneira, o intervalo de confiança μ apresenta-se da seguinte maneira,

$$\bar{X} - E < \mu < \bar{X} + E \quad (6)$$

Onde: \bar{X} = média aritmética
 $\bar{X} - E$ = valor mínimo
 $\bar{X} + E$ = valor máximo

3.12 Equipamentos utilizados na medição da curva de potência e torque, consumo específico e emissão de gases poluentes

Para o levantamento da curva de potência, utilizou-se o dinamômetro de bancada AVL 40 kW. Para a medição de consumo de combustível foi utilizada a

balança AVL, modelo APU 116H e, para medir as concentrações dos gases CO_2 , CO e HC no escapamento, utilizou-se o Mexa 1300 de marca TCA Horiba.

Durante o início da medição dos gases, calibra-se o equipamento Mexa 1300 para comparação adequada com os gases padrões. O Mexa 1300 utiliza bancos ópticos do método chamado de Infravermelho não dispersivo (*non-dispersive infrared detector* - NDIR) para medir a concentração HC, CO e CO_2 presentes nos gases de escape coletados.

Conforme o manual de utilização do Mexa 1300, para as determinações das concentrações de C_3H_8 , CO e CO_2 , os filtros devem ser verificados periodicamente. O filtro coletor de óleo e o filtro de particulado devem ser verificados quanto à fixação, à vedação e ao estado de conservação.

Antes e após as medições deve-se limpar a tubulação de medição com ar comprimido, conhecido como "*purge*", devido aos resíduos gerados na combustão como água, óleo e hidrocarbonetos. A drenagem manual da tubulação e do Mexa 1300 deve ser verificado também periodicamente devido ao acúmulo de água. Após a drenagem, a válvula de esfera deve estar completamente fechada para evitar que vazamentos comprometam a exatidão da medição.

4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Os resultados obtidos são apresentados seguindo a ordem cronológica do experimento. Resultados em maiores detalhes encontram-se disponibilizados nos Apêndices A, B, C e D, e no Anexo A.

4.1 Análise química das misturas realizadas

O primeiro passo consistiu na realização das análises químicas dos três combustíveis, formulados de acordo com a metodologia proposta.

Os resultados das análises de caracterização físico-química desses combustíveis, realizadas pelo Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes do IPT-SP, estão relacionados na Tabela 8, abaixo.

Tabela 8: Mistura dos combustíveis testados

Característica	Unidade	E25	C-9	E40
Cor	não tem	Amarelo, límpido e isento de impurezas	Amarelo, límpido e isento de impurezas	Amarelo, límpido e isento de impurezas
Aspecto				
Álcool Etílico Anidro Combustível (AEAC)	% em volume	26 ± 1	26 ± 1	41 ± 1
Massa específica a 20°C	Kg/m ³	748,3 ± 0,1	767,4 ± 0,1	759,4 ± 0,1
Destilação				
10% evaporado, máx.		58 ± 2	61 ± 2	58 ± 2
50% evaporado, máx.	°C	75 ± 1	77 ± 1	75 ± 1
90% evaporado.		166 ± 3	166 ± 3	161 ± 3
PFE, máx.		195 ± 3	189 ± 3	193 ± 3
Resíduo	% em volume	0,8	1,1	0,9
Nº de Octano Motor - MON	não tem	84,60	86,10	86,20
Nº de Octano Pesquisa - RON	não tem	96,90	98,40	98,20
Índice Antidetonante - IAD, mín.	não tem	90,75	92,25	92,20
Pressão de vapor a 37,8°C	kPa	55,4 ± 0,4	49,6 ± 0,4	55,2 ± 0,4
Goma atual lavada máx.	mg/ 100ml	2,0 ± 0,4	1,5 ± 0,4	2,0 ± 0,4
Período de indução a 100°C, mín.	minutos	2530	4752	1492
Corrosidade ao cobre a 50°C, 3h, máx.	não tem	1a	1a	1a
Enxofre, máx.	% em massa	0,020	0,015	0,015
Benzeno, máx.	% em volume	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1

Observa-se que os combustíveis padrão e adulterados atendem, em sua maioria, as mesmas especificações. Apesar da mistura denominada E40 ser facilmente identificada pelo teor alcoólico, a mistura C-9 só será identificada no caso de apresentar o marcador no solvente.

A especificação da gasolina comum tipo C conforme a Portaria ANP n.º. 309 de 27/12/2001 permite uma porcentagem máxima de hidrocarbonetos em 45% de aromáticos e 30% de olefínicos. A análise cromatográfica em fase gasosa da mistura C-9, detalhada na Tabela 9 abaixo, mostra o respeito a essa especificação.

Tabela 9: Dados da cromatografia em fase gasosa da mistura C-9.

Número de carbonos	Tipos de Hidrocarbonetos									
	Parafínicos (%)		Isoparafínicos (%)		Aromáticos (%)		Naftênicos (%)		Olefínicos (%)	
	Combustível referência	C-9	Combustível referência	C-9	Combustível referência	C-9	Combustível referência	C-9	Combustível referência	C-9
C4	-	0,67	0,32	0,09	-	-	-	-	0,95	0,40
C5	1,34	4,30	4,73	5,70	-	-	-	-	5,15	2,95
C6	2,37	1,59	4,03	3,33	0,36	0,17	2,10	0,80	4,52	2,27
C7	1,88	0,59	3,30	1,56	4,58	2,83	2,40	0,78	2,12	5,14
C8	1,73	0,45	3,80	3,94	4,96	2,24	3,00	1,44	0,64	0,29
C9	1,07	0,87	2,46	1,91	2,26	11,83	0,36	0,99	0,15	0,16
C10	0,81	0,78	1,57	6,66	5,58	5,78	-	0,35	-	-
C11	0,59	0,39	-	-	0,53	0,27	-	-	-	-
C12	0,39	0,08	-	-	0,32	0,15	-	-	-	-
C13	0,07	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	10,3	9,7	20,2	23,2	18,6	23,3	7,9	4,4	13,5	11,2

Ou seja, mesmo com a adição de 20% do solvente C-9 pode-se comprovar nessa análise que o volume máximo de hidrocarbonetos aromáticos é de 23,3% e o de olefínicos é 11,2%, consideravelmente abaixo do volume máximo permitido segundo as especificações da Gasolina C.

Verifica-se, entretanto, que os aromáticos de nove carbonos têm, na mistura contendo C-9, uma porcentagem superior ao combustível de referência.

4.2 Amaciamento dos motores

No amaciamento dos motores, todos utilizando combustível E25, não foi observado qualquer problema quanto ao funcionamento, nível de óleo e vazamentos nos motores. O procedimento de amaciamento no dinamômetro de bancada foi seguido corretamente, com controle da temperatura de óleo e base da vela de ignição, de acordo com a metodologia proposta. Os resultados obtidos estão no Apêndice C.

4.3 Normalização dos motores

Após o amaciamento com o combustível E25, foram realizados os levantamentos das curvas de desempenho (potência, torque e consumo específico) dos três motores.

Para comprovar que os três motores partiriam com as mesmas especificações do carburador e de desempenho de motor no teste de durabilidade com diferentes combustíveis, foi feita uma análise estatística dos dados obtidos, como mostrado abaixo.

Tabela 10: Potência dos motores em porcentagem.

RPM	Motor 1 (E25)			Motor 2 (E25)			Motor 3 (E25)		
	Motor 1 Teste 1	Motor 1 Teste 2	Motor 1 Teste 3	Motor 2 Teste 1	Motor 2 Teste 2	Motor 2 Teste 3	Motor 3 Teste 1	Motor 3 Teste 2	Motor 3 Teste 3
3500	41,7%	41,5%	42,7%	41,4%	41,7%	41,5%	42,4%	43,2%	43,3%
4000	50,5%	50,5%	51,4%	49,2%	49,5%	49,5%	50,7%	52,7%	52,6%
4500	58,9%	59,4%	60,5%	59,0%	59,0%	58,7%	59,8%	61,1%	61,3%
5000	65,8%	65,9%	68,0%	65,2%	65,5%	66,1%	66,9%	68,8%	68,7%
5500	75,3%	75,6%	76,0%	74,6%	75,5%	75,3%	76,3%	77,9%	78,1%
6000	82,5%	82,6%	83,6%	83,3%	84,0%	84,0%	85,5%	85,4%	85,3%
6500	88,5%	88,8%	89,9%	89,6%	90,1%	90,3%	91,5%	91,2%	91,6%
7000	93,7%	93,9%	94,4%	94,6%	95,0%	95,0%	95,8%	96,0%	95,9%
7500	97,1%	97,5%	97,7%	98,0%	98,2%	98,8%	98,5%	98,8%	98,8%
8000	99,4%	99,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
8500	100,0%	100,0%	99,8%	99,5%	99,7%	99,7%	99,5%	99,5%	99,7%
9000	98,2%	97,5%	98,1%	99,1%	99,1%	99,1%	98,2%	97,4%	97,4%

Tabela 11: Análise estatística do levantamento da curva de potência em %.(usando a distribuição t de Student)

Rotação	Média	Desvio Padrão	Confiança	Incerteza	Valor mínimo	Valor máximo
3500	42,2%	0,7%	95,0%	1,1%	41,0%	43,3%
4000	50,7%	1,3%	95,0%	2,0%	48,8%	52,7%
4500	59,8%	1,0%	95,0%	1,6%	58,2%	61,3%
5000	66,8%	1,4%	95,0%	2,2%	64,6%	68,9%
5500	76,1%	1,2%	95,0%	1,8%	74,2%	77,9%
6000	84,0%	1,2%	95,0%	1,8%	82,2%	85,8%
6500	90,2%	1,1%	95,0%	1,7%	88,5%	91,9%
7000	94,9%	0,8%	95,0%	1,3%	93,6%	96,2%
7500	98,1%	0,6%	95,0%	1,0%	97,2%	99,1%
8000	99,9%	0,3%	95,0%	0,4%	99,4%	100,3%
8500	99,7%	0,2%	95,0%	0,3%	99,4%	100,0%
9000	98,2%	0,7%	95,0%	1,1%	97,1%	99,3%

Para a normalização da curva de torque foram usados os seguintes dados:

Tabela 12: Torque dos motores em porcentagem.

RPM	Motor 1 (E25)			Motor 2 (E25)			Motor 3 (E25)		
	Motor 1 Teste 1	Motor 1 Teste 2	Motor 1 Teste 3	Motor 2 Teste 1	Motor 2 Teste 2	Motor 2 Teste 3	Motor 3 Teste 1	Motor 3 Teste 2	Motor 3 Teste 3
3500	86,7%	86,2%	87,6%	85,3%	85,1%	84,6%	84,9%	86,6%	86,9%
4000	91,7%	91,8%	92,2%	88,6%	88,4%	88,3%	88,9%	92,5%	92,5%
4500	95,2%	95,9%	96,5%	94,4%	93,7%	93,1%	93,2%	95,4%	95,9%
5000	95,7%	95,8%	97,6%	93,8%	93,5%	94,4%	93,8%	96,7%	96,7%
5500	99,6%	99,8%	99,2%	97,7%	97,9%	97,7%	97,3%	99,5%	99,9%
6000	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6500	99,0%	99,3%	99,3%	99,3%	98,9%	99,3%	98,8%	98,6%	99,1%
7000	97,3%	97,5%	96,8%	97,3%	96,9%	96,9%	96,1%	96,4%	96,4%
7500	94,1%	94,5%	93,5%	94,1%	93,5%	94,1%	92,1%	92,5%	92,7%
8000	90,3%	90,3%	89,7%	90,0%	89,2%	89,3%	87,7%	87,8%	87,9%
8500	85,5%	85,5%	84,3%	84,3%	83,7%	83,8%	82,2%	82,3%	82,5%
9000	79,3%	78,7%	78,3%	79,3%	78,6%	78,6%	76,5%	76,0%	76,1%

Tabela 13: Análise estatística do levantamento da curva de torque (usando a distribuição t de Student).

Rotação	Média	Desvio Padrão	Confiança	Incerteza	Valor mínimo	Valor máximo
3500	86,0%	1,0%	95,0%	1,6%	84,4%	87,6%
4000	90,6%	1,9%	95,0%	2,9%	87,6%	93,5%
4500	94,8%	1,3%	95,0%	2,0%	92,9%	96,8%
5000	95,3%	1,5%	95,0%	2,3%	93,1%	97,6%
5500	98,7%	1,0%	95,0%	1,6%	97,1%	100,3%
6000	100,0%	0,0%	95,0%	0,0%	100,0%	100,0%
6500	99,1%	0,2%	95,0%	0,4%	98,7%	99,4%
7000	96,8%	0,5%	95,0%	0,8%	96,1%	97,6%
7500	93,4%	0,8%	95,0%	1,3%	92,2%	94,7%
8000	89,1%	1,1%	95,0%	1,6%	87,5%	90,8%
8500	83,8%	1,3%	95,0%	2,0%	81,8%	85,8%
9000	77,9%	1,3%	95,0%	2,1%	75,9%	80,0%

Para a normalização da curva do consumo específico de combustível foram usados os dados abaixo.

Tabela 14: Consumo específico de combustível dos motores em g/kW.h.

RPM	Motor 1 (E25)			Motor 2 (E25)			Motor 3 (E25)		
	Motor 1 Teste 1	Motor 1 Teste 2	Motor 1 Teste 3	Motor 2 Teste 1	Motor 2 Teste 2	Motor 2 Teste 3	Motor 3 Teste 1	Motor 3 Teste 2	Motor 3 Teste 3
3500	344,8	347,5	336,2	341,6	338,6	337,4	335,6	342,6	348,5
4000	353,3	351,5	357,6	342,2	350,3	352,9	354,8	343,2	350,5
4500	358,6	356,5	352,1	364,3	357,6	352,7	367,7	364,7	364,2
5000	366,3	364,7	359,1	365,5	356,7	358,8	369,0	364,1	369,7
5500	370,8	363,4	368,8	370,4	364,4	358,9	368,9	365,0	365,6
6000	375,5	373,9	369,5	379,3	372,8	374,4	374,8	368,8	366,1
6500	374,4	371,3	367,5	373,5	369,6	373,1	376,2	372,1	372,7
7000	381,3	380,8	381,9	385,6	380,3	380,9	379,4	372,8	372,8
7500	392,5	391,5	396,1	391,1	391,0	386,9	388,0	378,6	380,3
8000	388,8	398,2	396,2	400,7	402,7	401,8	387,4	389,3	387,2
8500	403,2	405,0	403,7	420,6	416,7	413,6	407,0	407,3	405,2
9000	422,5	433,6	422,5	446,0	444,3	446,5	427,6	431,2	418,7

Tabela 15: Análise estatística do levantamento da curva do consumo específico de combustível em g/kW.h (usando a distribuição t de Student).

Rotação	Média	Desvio Padrão	Confiança	Incerteza	Valor mínimo	Valor máximo
3500	341,43	4,817	95,0%	7,406	334,02	348,84
4000	350,70	5,060	95,0%	7,779	342,93	358,48
4500	359,83	5,627	95,0%	8,651	351,18	368,48
5000	363,77	4,612	95,0%	7,090	356,68	370,86
5500	366,25	3,858	95,0%	5,931	360,32	372,18
6000	372,79	4,031	95,0%	6,197	366,60	378,99
6500	372,26	2,593	95,0%	3,986	368,28	376,25
7000	379,51	4,210	95,0%	6,473	373,04	385,99
7500	388,45	5,726	95,0%	8,803	379,64	397,25
8000	394,69	6,514	95,0%	10,014	384,67	404,70
8500	409,15	6,264	95,0%	9,630	399,52	418,78
9000	432,54	10,789	95,0%	16,586	415,96	449,13

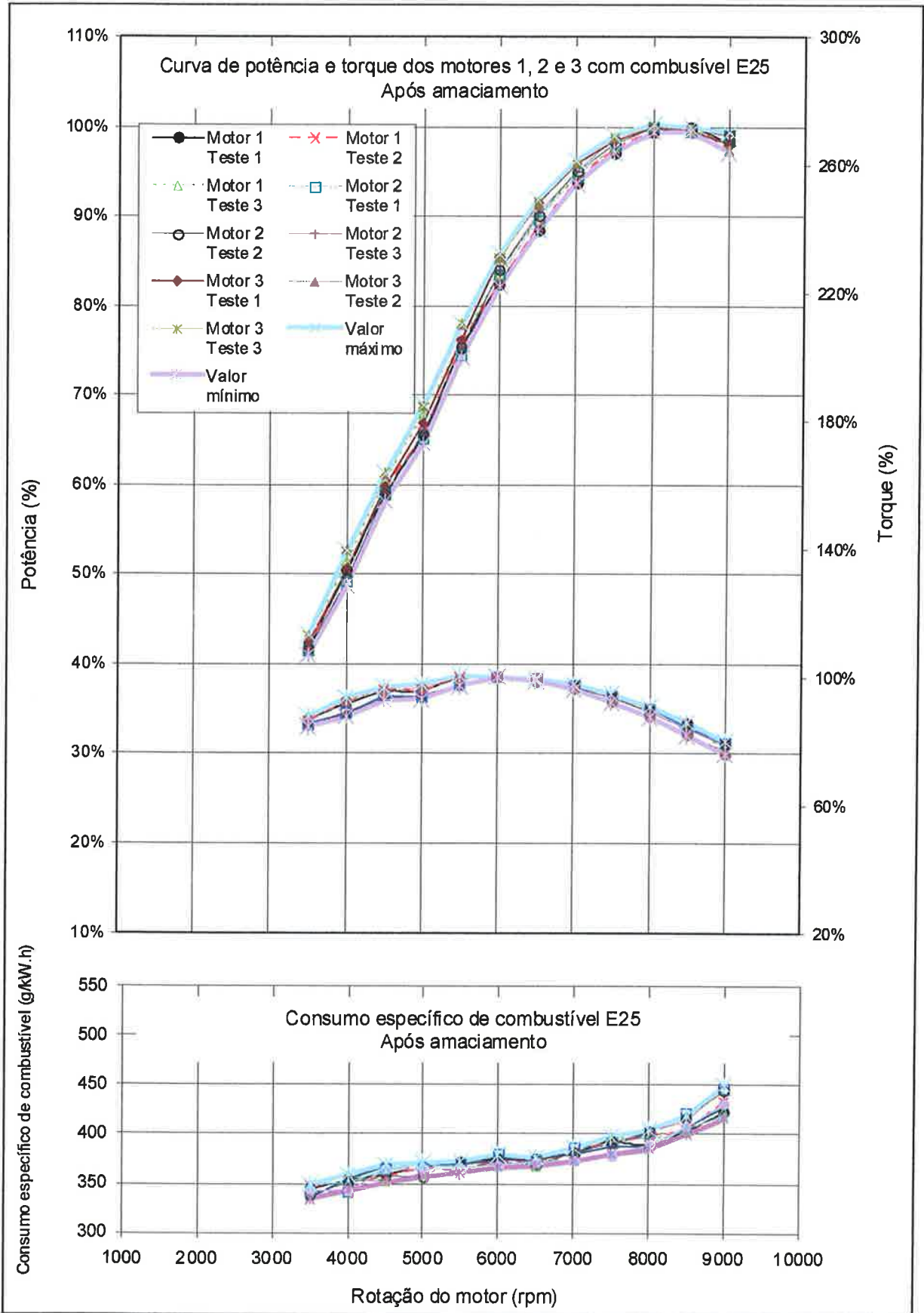


Gráfico 14: Normalização dos três motores.

No levantamento da curva de potência (Gráfico 15), seguindo a norma NBR 1585, verificou-se que o fator de correção α (que leva em conta as propriedades do ar no local onde o motor foi ensaiado) superava o limite superior. Dessa maneira, foram utilizados os valores observados em todas as medições, quer no levantamento das curvas de potência durante, quer no ensaio de durabilidade.

Após a normalização, os motores foram abastecidos com as misturas preestabelecidas na metodologia. O motor 1 continuou consumindo E25, o motor 2 passou a consumir C-9 e o motor 3 passou a consumir E40.

4.4 Durabilidade dos motores

Nenhum dos motores demonstrou problemas relevantes quanto ao funcionamento, nível de óleo e vazamentos após a segunda montagem com verificação dimensional dos componentes.

O ensaio de durabilidade em dinamômetro de bancada desenvolveu-se de acordo com a metodologia proposta. Os resultados obtidos estão no Apêndice C.

No final de cada ciclo de durabilidade foram levantadas novamente as curvas de desempenho.

Para tanto, foi utilizado um medidor de combustível AVL, modelo APU 116H, de capacidade máxima de 60 litros por hora, único disponível. Devido ao seu fundo de escala ser muito elevado, notou-se que as medições de consumo ficaram imprecisas em baixas rotações, considerando a capacidade cúbica dos motores (125cc).

Dessa maneira, para fins de comparação, foram utilizadas apenas medidas de consumo específico em rotação máxima de modo a permitir que os dados coletados fossem conclusivos.

4.4.1 Análise do motor 1 abastecido com Gasolina C (E25)

Conforme o Gráfico 15, após o amaciamento, o motor 1 apresentou a potência máxima caracterizada $100\% \pm 0\%$, no segundo ciclo o valor de $101\% \pm 3\%$. Ao atingir 72 horas e 108 horas observou-se uma redução, respectivamente, de $98\% \pm 4\%$ e $96\% \pm 5\%$ na potência máxima, relativamente à observada no amaciamento. A potência máxima do motor avaliado foi medida na rotação de 8.500 rpm. Portanto,

considerando as incertezas das medidas, é possível afirmar que não houve uma redução significativa na potência.

O torque do motor teve um valor inicial de $100\% \pm 0\%$, aumentou para $102\% \pm 3\%$ nas primeiras 36 horas e manteve-se em $101\% \pm 4\%$ após 72 horas e $101\% \pm 7\%$ após 108 horas de durabilidade, relativamente ao observado no amaciamento. Portanto, considerando as incertezas das medidas, é possível afirmar que não houve variações no torque. O torque máximo do motor foi observado na rotação de 6.000 rpm.

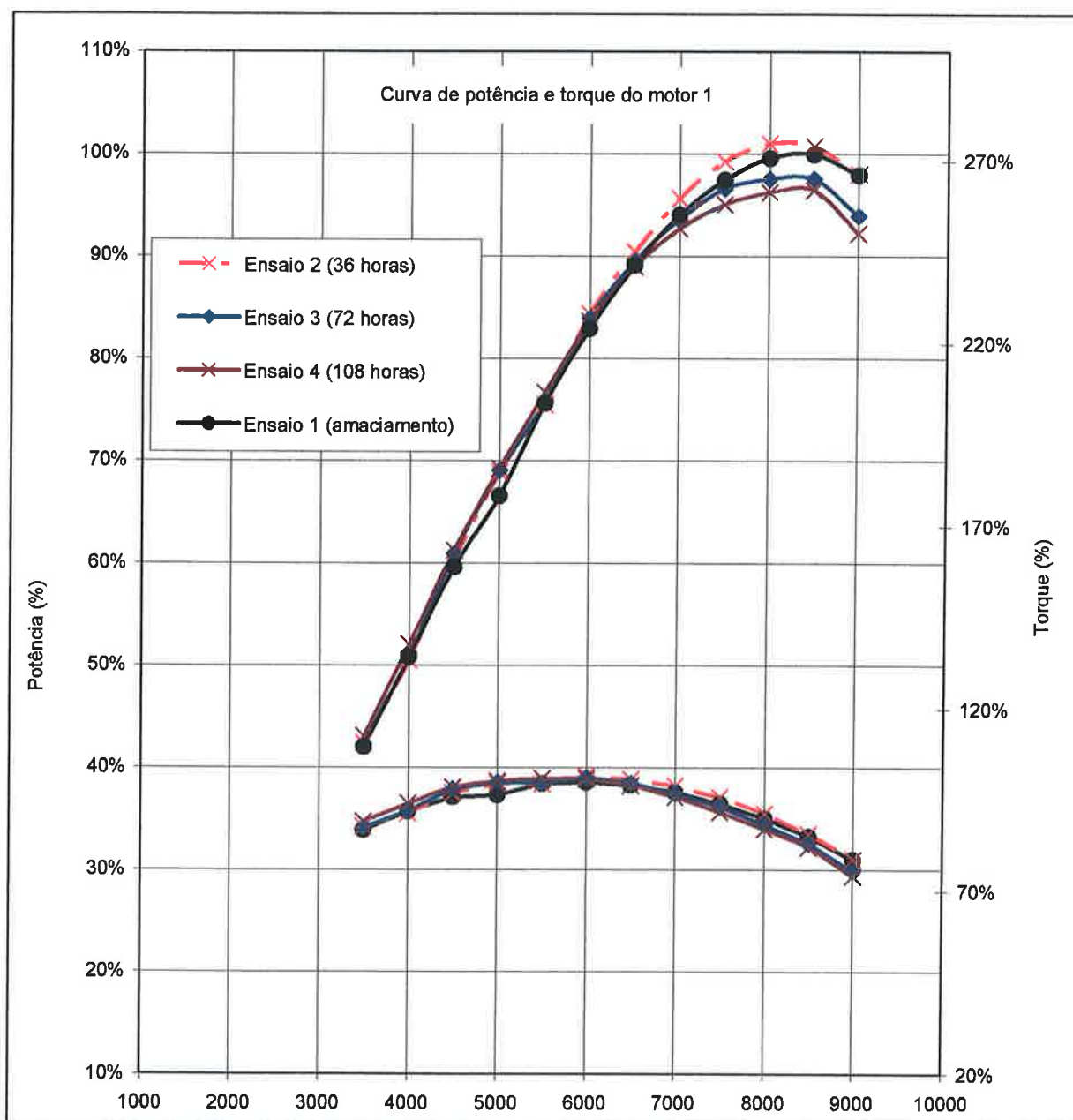


Gráfico 15: Levantamento das curvas de potência e torque do motor 1.

Quanto ao consumo específico, considerando a rotação máxima de 9.000 rpm, após o amaciamento, o valor era de $426,21 \pm 31,88$ g/kW.h, passou para

433,82±11,99 g/kW.h com 36 horas. A atingir 72 e 108 horas, o consumo específico assumiu, respectivamente, os valores de 454,55±31,27 g/kW.h e 451,49±37,50 g/kW.h.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que houve o aumento no consumo específico ao longo da vida útil. Os resultados do consumo específico estão no Apêndice D.

4.4.2 Análise do motor 2 abastecido com gasolina adulterada (C-9)

O motor 2, que utilizou a mistura com 20% de C-9, apresentou perda de potência em toda a extensão do ensaio de durabilidade, conforme observado no Gráfico 16.

Nas primeiras 36 horas observou-se uma perda de 4%±2% na potência máxima. Após 72 horas a perda de potência chegou a 7%±1%, e nas 108 horas a 6%±2%. Na primeira medição, antes do início do ensaio de durabilidade, foi utilizado E25. A potência máxima do motor avaliado foi medida a 8.500 rpm. Portanto, considerando as incertezas das medidas, é possível afirmar que houve uma redução na potência de 6%±2% na última medição do motor 2.

Considerando que a variação máxima esperada no valor da potência máxima era de 7% durante o ensaio de durabilidade, o motor avaliado estaria reprovado.

O torque máximo do motor teve um decréscimo de 3%±2% 3%±1% nas primeiras 36 horas, reduziu para 5%±3% nas 72 horas e manteve-se em 3%±2% nas 108 horas.

O torque máximo do motor era obtido a 6.000 rpm.

O consumo específico, considerando a rotação máxima de 9.000 rpm, após o amaciamento, tinha um valor de 445,57±5,70 g/kW.h quando abastecido com E25. Após 36 horas, na primeira medição utilizando C-9, o consumo específico era de 454,76±22,70 g/kW.h. Nas 72 horas atingiu o valor de 470,84±26,88 g/kW.h, após 108 horas a medição forneceu 463,51±25,86 g/kW.h.

Portanto, não é possível afirmar que houve o aumento no consumo específico do motor C-9 ao longo do ensaio de durabilidade, da mesma forma que ocorreu com o motor 1. É importante mencionar que o combustível E25, utilizado na primeira medição, tinha uma massa específica de 748,3 kg/m³ e a mistura com 20% de C-9 tinha uma massa específica de 767,4 kg/m³. Os dados do consumo estão no Apêndice D.

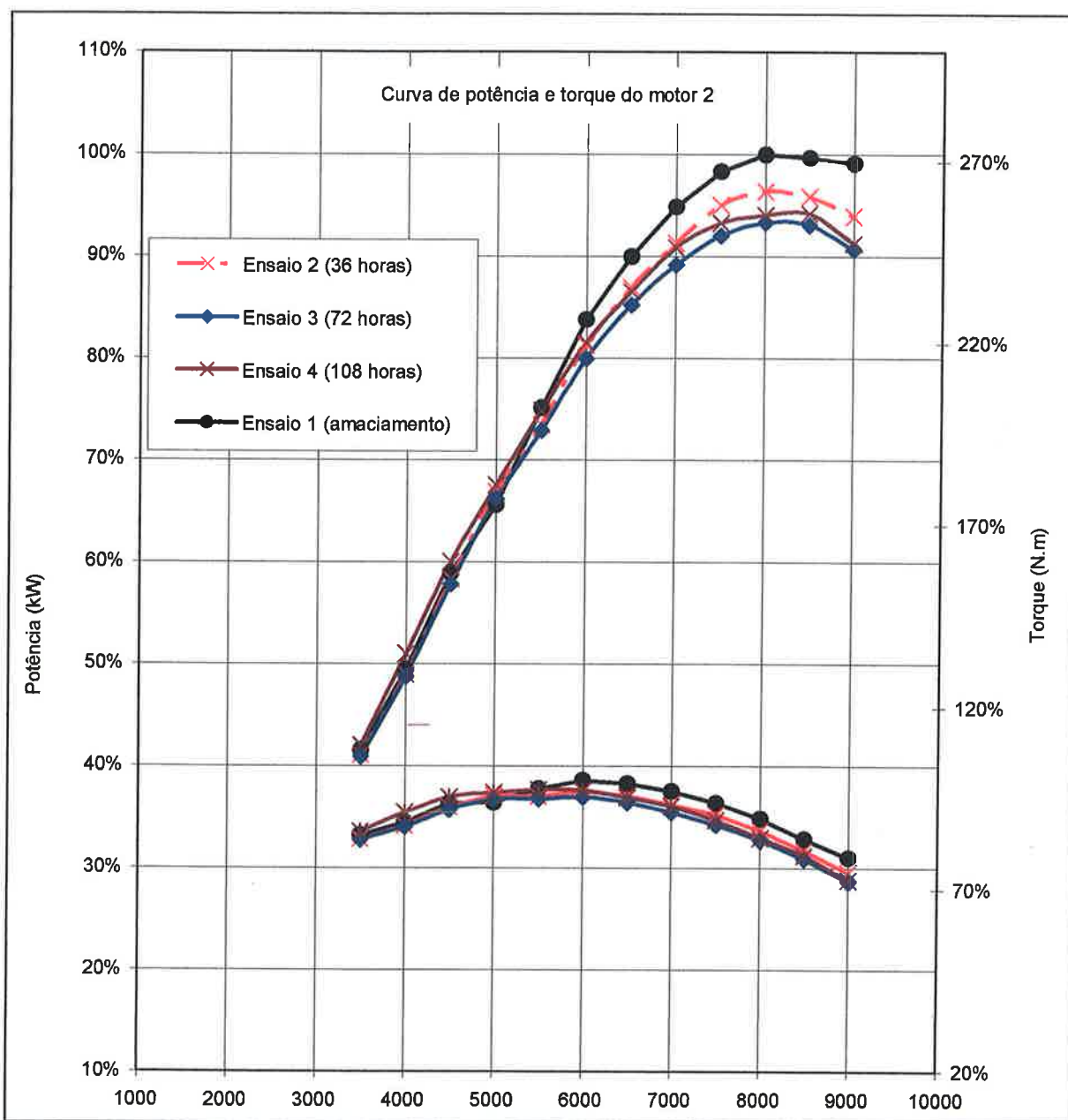


Gráfico 16: Levantamento das curvas de potência e torque do motor 2.

4.4.3 Análise do motor 3 abastecido com gasolina adulterada (E40)

O motor 3, que utilizou a mistura E40 após o amaciamento, apresentou uma queda de potência ainda mais acentuada que o motor 1 e 2 durante o ensaio de durabilidade, conforme apresentado no Gráfico 17.

Devido ao combustível utilizado, no levantamento das curvas de potência e torque, não foi possível fazer medições na rotação de 3.500 rpm. A mistura ar e combustível ficou muito pobre de modo que o motor não se mantinha em funcionamento nessa rotação.

Nas primeiras 36 horas, a redução do valor da potência máxima atingiu $2\% \pm 2\%$; após 72 horas essa redução era de $6\% \pm 4\%$. Após 108 horas a perda de potência máxima chegou a $8\% \pm 3\%$.

Foi utilizado E25 na primeira medição antes do início da durabilidade. A potência máxima do motor avaliado foi medida na rotação de 8.500 rpm.

Considerando a variação máxima de 7% durante o ciclo de vida acelerado proposto, o motor 3 estaria reprovado.

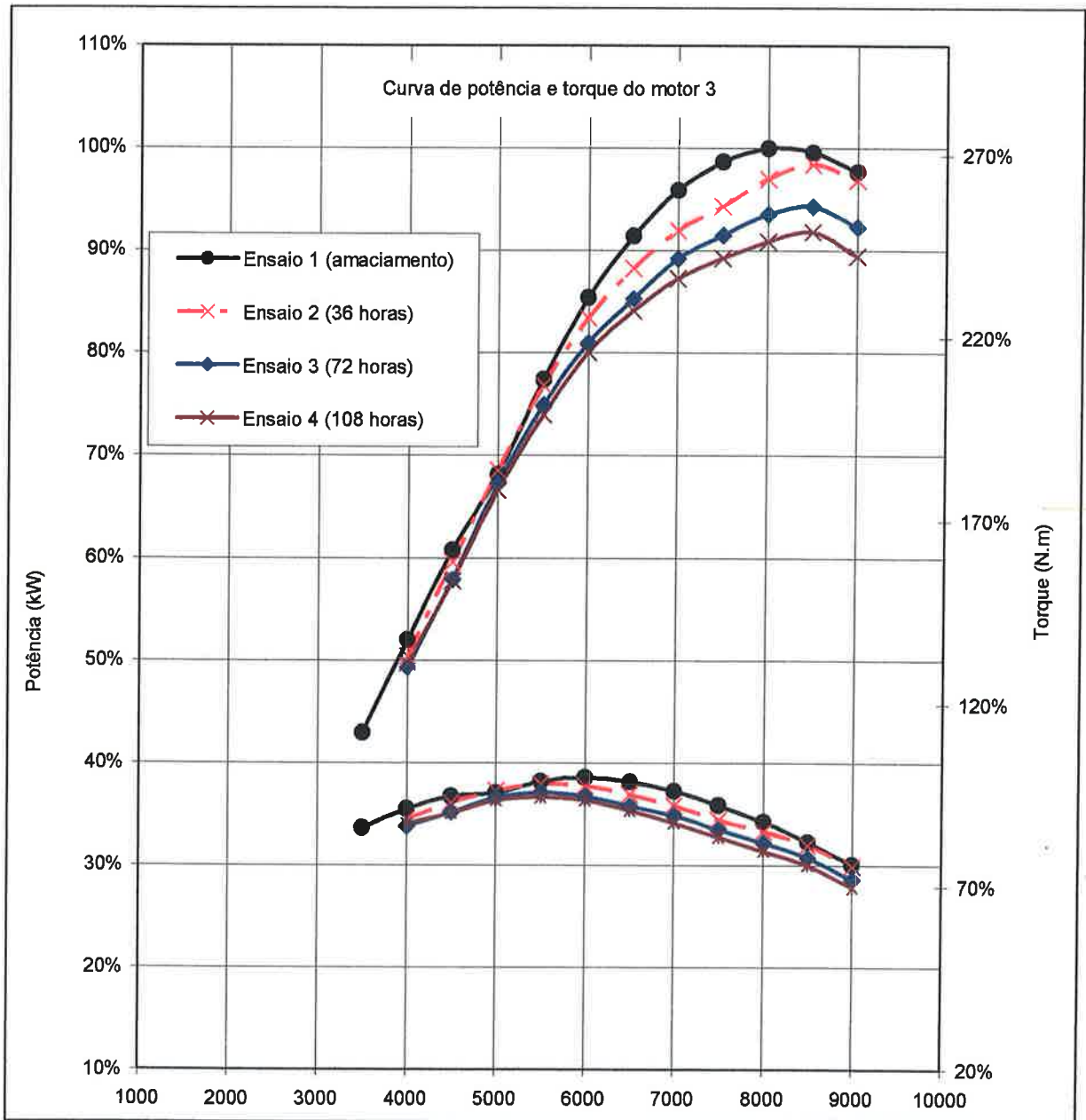


Gráfico 17: Levantamento das curvas de potência e torque do motor 3.

O torque máximo do motor teve um decréscimo de $2\% \pm 1\%$ nas primeiras 36 horas. Esse decréscimo se acentuou, tendo atingido $5\% \pm 4\%$ após 72 horas e $6\% \pm 4\%$ após 108 horas de ensaio de durabilidade.

O torque máximo do motor foi observado na rotação de 6.000 rpm.

No consumo específico, considerando a rotação máxima de 9.000 rpm, após o amaciamento, teve um valor inicial de $425,84 \pm 31,87$ g/kW.h quando abastecido com E25. Após 36 horas, na primeira medição utilizando E40, teve o consumo específico de $438,00 \pm 8,53$ g/kW.h.

Após 72 horas, atingiu o consumo específico de $455,97 \pm 30,43$ g/kW.h e nas 108 horas, na última medição, teve $474,07 \pm 12,56$ g/kW.h.

Portanto o consumo específico de combustível aumentou em 11,3% ao longo da vida útil, o que era praticamente o dobro dos observados nos motores 1 e 2.

No motor 3, deve-se considerar que, na primeira medição, o combustível E25 tem uma massa específica de $748,3 \text{ kg/m}^3$ e com a adição de 15% de E40 passou para $759,4 \text{ kg/m}^3$. Os dados do consumo estão no Apêndice D.

4.5 Medições nas revisões periódicas

Após os ciclos de durabilidade, foram realizadas as revisões periódicas. A folga de válvulas de admissão e escape, eletrodo da vela de ignição, compressão do motor e consumo de óleo foram monitoradas em toda a extensão do experimento.

As folgas de válvulas apresentaram os seguintes resultados, conforme as Tabelas 16, 17, 18 e 19:

Tabela 16: Folga de válvulas no amaciamento (mm).

Motor	Valores ajustados para o amaciamento		Valores encontrados depois do amaciamento	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,100	0,120	0,120	0,120
C9	0,100	0,120	0,110	0,140
E40	0,100	0,120	0,130	0,170

Tabela 17: Folga de válvulas no primeiro ciclo durabilidade (mm).

Motor	Valores ajustados para o 1º ciclo		Valores encontrados depois do 1º ciclo	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,100	0,120	0,100	0,120
C9	0,100	0,120	0,080	0,100
E40	0,100	0,120	0,100	0,120

Tabela 18: Folga de válvulas no segundo ciclo durabilidade (mm).

Motor	Valores mantidos para o 2º ciclo		Valores encontrados depois do 2º ciclo	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,100	0,120	0,110	0,120
C9	0,080	0,100	0,080	0,100
E40	0,100	0,120	0,100	0,110

Tabela 19: Folga de válvulas no terceiro ciclo durabilidade (mm).

Motor	Valores mantidos para o 3º ciclo		Valores encontrados depois do 3º ciclo	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,110	0,120	0,120	0,120
C9	0,080	0,100	0,090	0,110
E40	0,100	0,110	0,100	0,110

As folgas das válvulas ficaram dentro dos limites em todos os motores com exceção do período de amaciamento, momento em que há o assentamento das válvulas (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

As folgas dos eletrodos geraram os seguintes resultados, conforme a Tabela 20:

Tabela 20: Folga do eletrodo da vela de ignição (mm).

Motor	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Pós-ciclo
E25	0,60	0,60	0,60	0,60
C9	0,60	0,60	0,65	0,65
E40	0,65	0,65	0,70	0,70

A folga do eletrodo manteve-se a mesma para o motor E25, enquanto que para os motores C-9 e E40 teve um aumento de 0,05 milímetros. Todas as folgas estão dentro dos limites permitidos em projeto.

As medições das pressões de final de compressão dos motores geraram os seguintes resultados, conforme a Tabela 21:

Tabela 21: Compressão dos motores (kgf/cm²).

Motor	Teste realizado após o término de cada etapa				Pós-ciclo
	Amaciamento	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	
E25	14,6	12,2	11,8	11,8	12,4
C9	13,8	15,6	16,9	15,6	15,6
E40	15,8	16,0	15,3	15,4	15,8

Os resultados referem-se à última medição após o levantamento das curvas de potência antes de iniciar a desmontagem dos motores.

Todos os resultados na medição de compressão estão de acordo com a especificação em projeto.

E por último, foram medidos os consumos de óleo para cada motor a cada ciclo de durabilidade, conforme as Tabelas 22, 23 e 24.

Tabela 22: Consumo de óleo dos motores após o primeiro ciclo em gramas e gramas por hora.

Motor	Valor inicial	Adição	Valor final	Consumo	
	gramas			gramas	g/h
E25	890	413	791	512	14,2
C9	890	340	789	441	12,3
E40	890	323	704	509	14,1

Tabela 23: Consumo de óleo dos motores após o segundo ciclo em gramas e gramas por hora.

Motor	Valor inicial	Adição	Valor final	Consumo	
	gramas			gramas	g/h
E25	890	466	831	525	14,6
C9	890	314	750	454	12,6
E40	890	303	758	435	12,1

Tabela 24: Consumo de óleo dos motores após o terceiro ciclo em gramas e gramas por hora.

Motor	Valor inicial	Adição	Valor final	Consumo	
	gramas			gramas	g/h
E25	890	306	761,5	435	12,1
C9	890	209	714	385	10,7
E40	890	338	789	439	12,2

O consumo de óleo foi próximo aos dos demais motores.

A altura da bóia de combustível foi monitorada, porém não houve variação de altura em nenhum dos motores pelo método de medição utilizado. Todos iniciaram e terminaram com a altura da bóia de 6,0 mm abaixo da linha do carburador.

4.6 Análise das emissões de poluentes

4.6.1 Análise do motor 1 abastecido com Gasolina C (E25)

A concentração de CO₂ nos gases de escapamento após o amaciamento, na rotação de potência máxima, era de 9,54%±1,00% e passou para 9,93%±0,92% após o

primeiro ciclo, para $10,48\% \pm 1,65\%$ no segundo ciclo e para $10,31\% \pm 0,24\%$ no último ciclo. Portanto, considerando as incertezas das medidas, é possível verificar que houve um aumento de $8\% \pm 2,32\%$ na emissão de CO_2

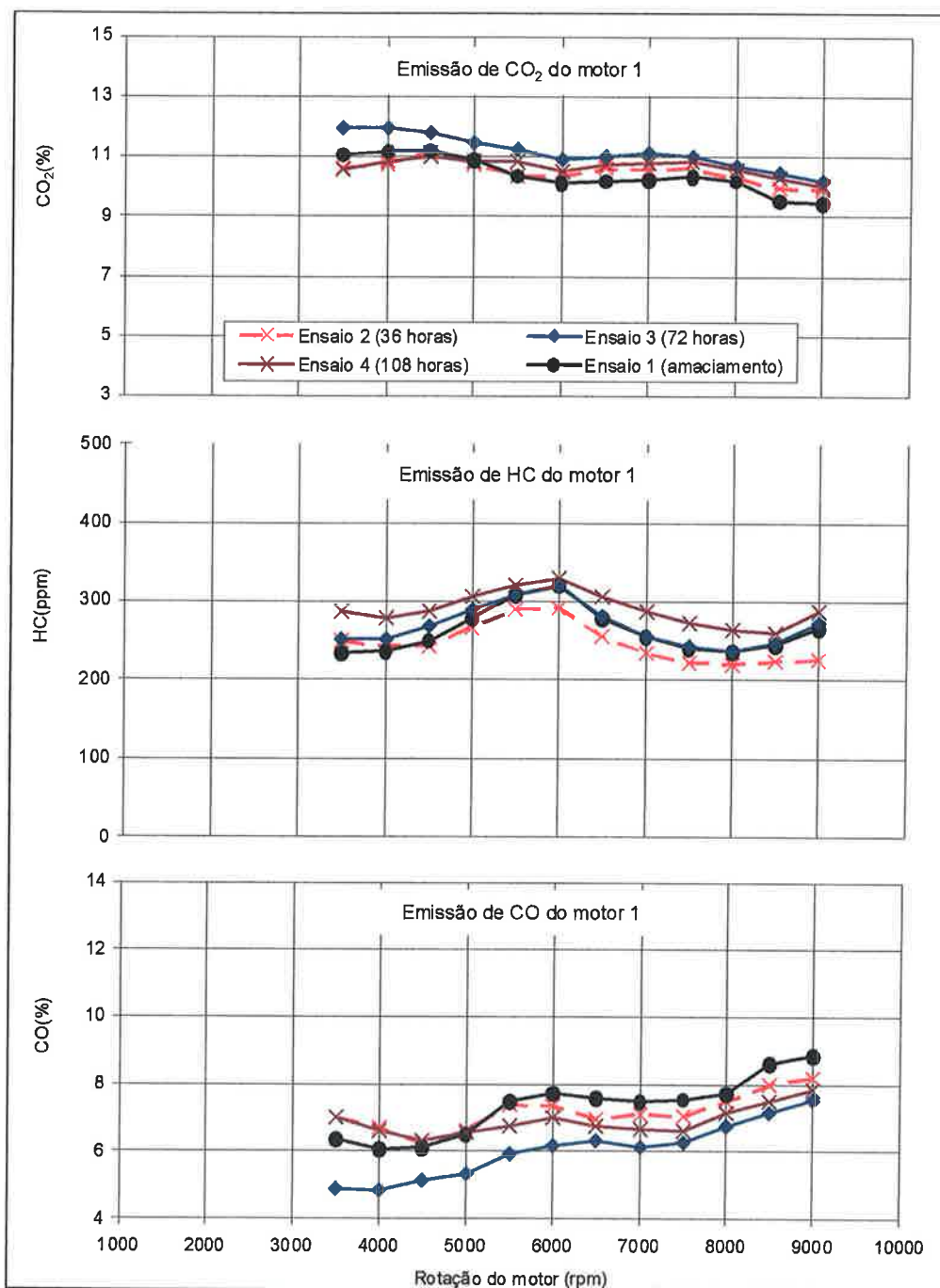


Gráfico 18: Emissão dos gases de escape CO_2 , HC e CO do motor 1.

Esses resultados, associados ao fato de ter havido uma redução no valor nominal da potência em 4%, demonstra uma perda de eficiência do motor ao longo do ensaio de durabilidade. O Gráfico 18 apresenta as emissões de CO_2 , HC e CO do motor 1 entre 3.500 a 9.000 rpm em plena carga.

A emissão de HC após o amaciamento, na rotação de potência máxima, que era de 244 ± 45 ppm, reduziu-se para 224 ± 27 ppm após o primeiro ciclo, manteve-se em 248 ± 96 ppm no segundo ciclo e aumentou para 259 ± 23 ppm no final do ensaio de durabilidade.

Apesar de ser coerente esperar o aumento da emissão de HC, considerando as incertezas das medidas, estatisticamente não é possível afirmar que isso tenha ocorrido durante o ensaio de durabilidade.

A emissão de CO, na rotação de potência máxima, após o amaciamento, teve um valor de $8,61\% \pm 1,02\%$, reduziu-se para $7,99\% \pm 1,50\%$ após o primeiro ciclo e para $7,15\% \pm 2,63\%$ após o segundo ciclo, atingindo $7,50\% \pm 1,25\%$ no final do ensaio. Da mesma forma, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que houve uma alteração nas emissões de CO.

4.6.2 Análise do motor 2 abastecido com gasolina adulterada (C-9)

Nas medições dos gases de escape do motor 2, após o amaciamento, utilizou o combustível E25, e nos três próximos ciclos, o combustível C-9.

A emissão de CO₂ após o amaciamento, na rotação de potência máxima, teve um valor de $9,64\% \pm 0,55\%$ com o uso de E25, de forma estatisticamente semelhante ao motor 1. Essa semelhança também foi verificada para as emissões de CO e HC.

Passou para $9,68\% \pm 0,14\%$ após o primeiro ciclo com o uso do C-9, aumentou para $10,06\% \pm 0,49\%$ no segundo ciclo e para $10,39\% \pm 0,97\%$ no último ciclo.

Portanto, considerando as incertezas das medidas com o uso do C-9, não é possível afirmar que a emissão de CO₂ alterou durante o ensaio de durabilidade.

A tendência do aumento CO₂, associados ao fato de ter havido uma redução no valor da potência em $6\% \pm 2\%$, demonstram uma perda de eficiência do motor 2 ao longo do ensaio de durabilidade.

A emissão de HC, na rotação de potência máxima, após o amaciamento, teve um valor de 265 ± 65 ppm, reduziu para 233 ± 21 ppm após o primeiro ciclo, manteve-se em 242 ± 48 ppm no segundo ciclo e atingiu 244 ± 56 ppm no terceiro ciclo.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que as emissões de HC sofreram alterações durante toda a durabilidade.

O Gráfico 19 apresenta as emissões de CO₂, HC e CO do motor 2 funcionando em plena carga entre 3.500 a 9.000 rpm.

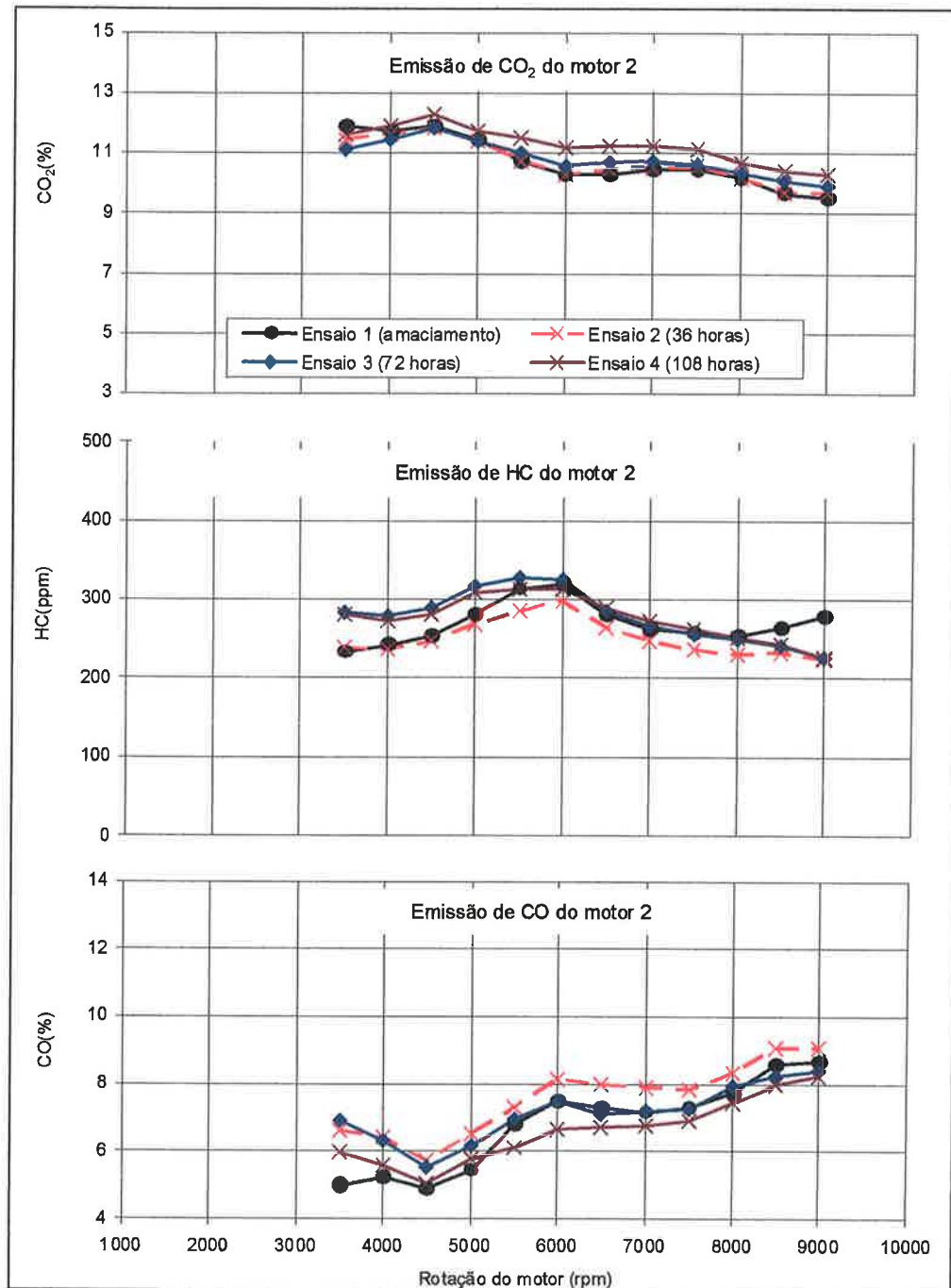


Gráfico 19: Emissão dos gases de escape CO₂, HC e CO do motor 2.

A emissão de CO, na rotação de potência máxima, após o amaciamento, teve um valor de $8,58\% \pm 0,69\%$ com o uso do E25. Gerou $9,08\% \pm 0,52\%$ após o primeiro ciclo e $8,23\% \pm 0,96\%$ após o segundo ciclo. Terminou com o valor de $8,00\% \pm 0,93\%$ na última medição.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que a emissão de CO alterou-se ao longo do ensaio de durabilidade.

4.6.3 Análise do motor 3 abastecido com gasolina adulterada (E40)

O Gráfico 20 apresenta as emissões de CO₂, HC e CO do motor 3 funcionando em plena carga entre 3.500 a 9.000 rpm.

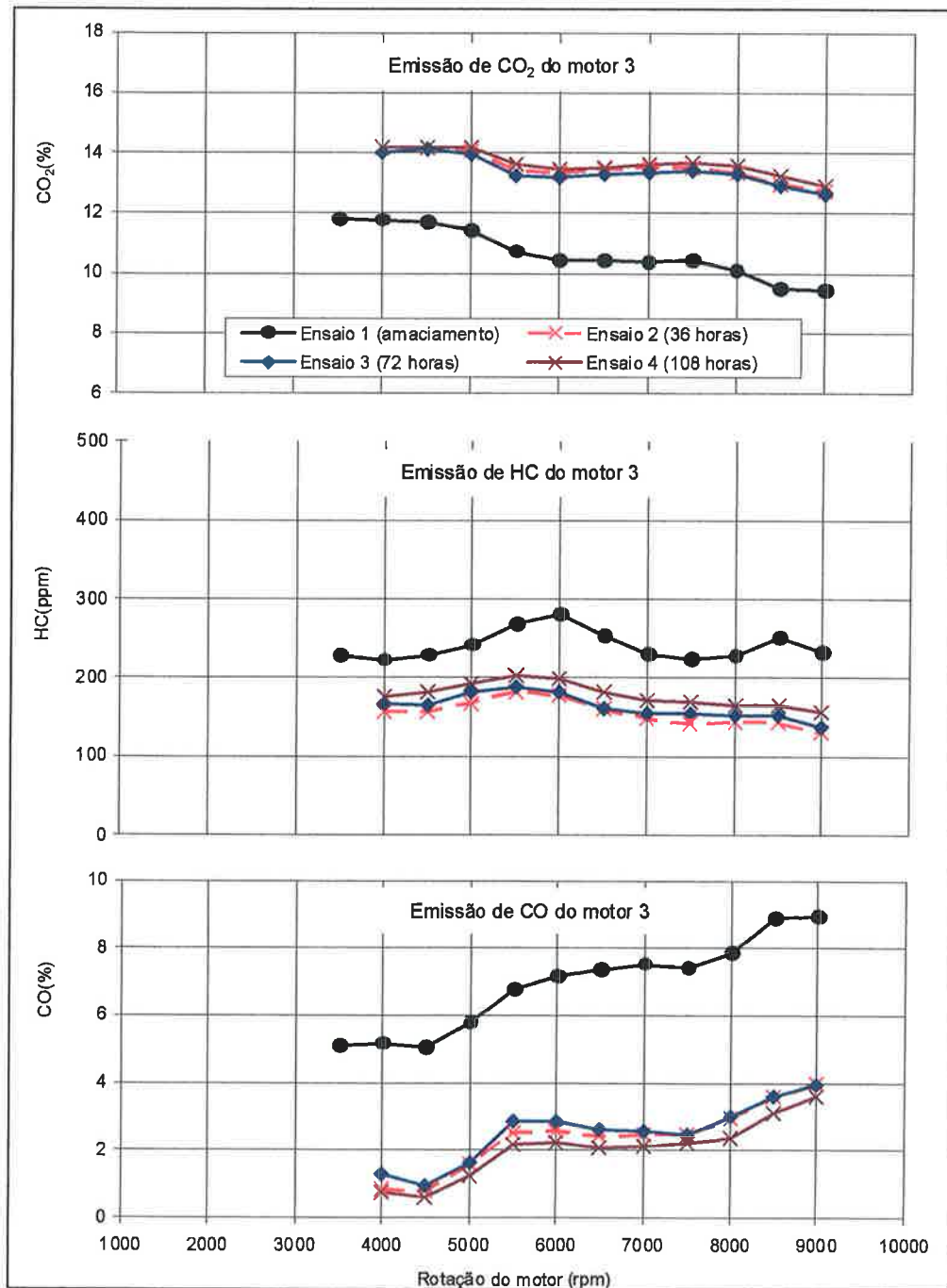


Gráfico 20: Emissão dos gases de escape CO₂, HC e CO do motor 3.

Nas medições dos gases de escape do motor 3, após o amaciamento, utilizou o combustível E25, e nos três próximos ciclos, o combustível E40.

A emissão de CO₂ após o amaciamento, na rotação de potência máxima, teve um valor de 9,48%±0,83% com o uso de E25, de forma estatisticamente

semelhante ao motor 1. Essa semelhança também foi verificada para as emissões de CO e HC.

Com o uso de E40, gerou $12,98\% \pm 0,37\%$ no final o primeiro ciclo, $12,90\% \pm 0,44\%$ no segundo ciclo e aumentou em $13,25\% \pm 0,55\%$ no último ciclo.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que houve alteração na emissão de CO₂

A emissão de HC, na rotação de potência máxima, após o amaciamento, teve um valor de 251 ± 21 ppm, reduziu-se para 143 ± 40 ppm após o primeiro ciclo, gerou 153 ± 15 ppm no segundo ciclo e 165 ± 9 ppm no terceiro ciclo.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que a emissão de HC se alterou com o uso do E40.

A emissão de CO, na rotação de potência máxima, após o amaciamento, teve um valor nominal de $8,91\% \pm 1,10\%$, reduziu em $3,58\% \pm 0,60\%$ após o primeiro ciclo, manteve-se em $3,58\% \pm 0,34\%$ após o segundo ciclo e $3,11\% \pm 0,53\%$ na última medição.

Portanto, considerando as incertezas das medidas, não é possível afirmar que houve alteração nas emissões de CO durante o ensaio de durabilidade.

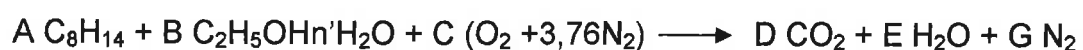
Entretanto, nominalmente, verificam-se tendências de aumento nas concentrações de CO₂ e HC, e de redução nas concentrações de CO.

O aumento na produção de CO₂ está coerentemente associado ao aumento de consumo durante o ensaio. A redução no CO ocorre pela maior disponibilidade de oxigênio proveniente do próprio combustível e pelo empobrecimento gradual da mistura observada no decorrer do ensaio. O aumento da concentração de HC está associado ao desgaste do motor.

4.7 Relações estequiométricas

4.7.1 Reação estequiométrica do E25

A reação de combustão completa para o combustível E25 pode ser escrita da seguinte maneira:



Os valores de A e B são definidos a partir da consideração que 75% do volume de combustível é constituído de gasolina pura (molécula média: C_8H_{14}) e os 25% restantes são de AEAC com teor alcoólico de 99,3% em massa, conforme caracterização do álcool etílico anidro carburante utilizado nos ensaios. Os valores de C, D, E e G são obtidos considerando a estequiometria da reação.

Ainda de acordo com os certificados emitidos pelas distribuidoras de combustível, adquiridos para esse experimento, a massa específica da gasolina é 0,74 kg/l e a do álcool anidro de 0,79 kg/l.

Desta forma, a massa específica $\bar{\rho}$ da mistura E25 é descrita na equação 7:

$$\begin{aligned}\bar{\rho} &= 0,75 \times 0,74 + 0,25 \times 0,79 \\ \bar{\rho} &= 0,7525 \text{ kg/l (7)}\end{aligned}$$

Portanto, em massa, a gasolina corresponde a 73,75% ($0,74 \times 0,75 / 0,7525$) da massa total da mistura e o AEAC corresponde a 26,25% ($0,79 \times 0,25 / 0,7525$).

A massa molecular da gasolina (C_8H_{14}) é de 110,200 g/mols e a do AEAC ($C_2H_5OHn'H_2O$) é de 46,069 g/mols acrescida da água presente que possui massa molecular 18,015 g/mols.

Pode-se, então, escrever conforme a equação 8:

$$\% \text{ água em massa} = \frac{n'H_2O}{C_2H_5OH + n'H_2O} \quad (8)$$

Substituindo os valores conhecidos na equação acima, tem-se:

$$0,007 = \frac{18,015 \times n'}{46,069 + 18,015 \times n'}$$

$$n' = 0,018$$

$$n'H_2O = 0,018 \times 18,015 = 0,324 \text{ g/mols}$$

Portanto:

$$46,393 B = 0,2625 (110,200 A + 46,393 B)$$

$$110,200 A = 0,7375 (110,200 A + 46,393 B)$$

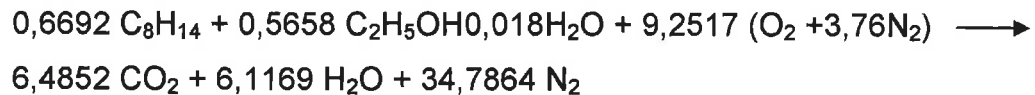
Chamando a massa total de combustível ($110,200 A + 46,393 B$) de X, obtém-se de acordo com a equação 9 e 10:

$$A = \frac{0,7375 X}{110,200} = 0,006692 X \quad (9)$$

$$B = \frac{0,2625 X}{46,393} = 0,005658 X \quad (10)$$

Estabelecida a proporção acima, foram utilizados os valores $A = 0,6692$ e $B = 0,5658$.

Realizando, então, o balanço da equação química, obtém-se:

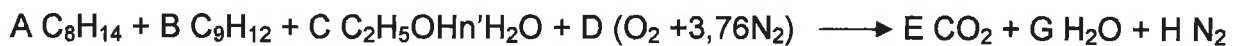


Dessa maneira, a relação mássica combustível-ar estequiométrica do combustível E25 (F_{25}) está na equação 11:

$$F_{25} = \frac{0,6692 \times 110,200 + 0,5658 \times 46,393}{9,2517 \times (31,998 + 3,76 \times 28,014)} = \frac{1}{12,71} = 0,0787 \quad (11)$$

4.7.2 Reação estequiométrica da mistura contendo solvente C-9

A reação de combustão completa da mistura com solvente C-9, como utilizada nos ensaios, pode ser escrita da seguinte maneira:



Os valores de A, B e C são definidos a partir da consideração que 55% do volume de combustível é constituído de gasolina pura (molécula média: C_8H_{14}), 20% é constituído por solvente C-9 e os 25% restantes são de AEAC (com teor alcoólico de 99,3% em massa). Os valores de D, E, G e H são obtidos considerando a estequiometria da reação.

De acordo com os certificados emitidos pelas distribuidoras de combustível, adquiridos para esse experimento, a massa específica da gasolina é 0,74 kg/l, a do solvente C-9 de 0,87 kg/l e a do álcool anidro de 0,79 kg/l; o teor alcoólico do AEAC é de 99,3% em massa.

Desta forma, a massa específica ($\bar{\rho}$) para a mistura é descrita na equação 12:

$$\bar{\rho} = 0,55 \times 0,74 + 0,20 \times 0,87 + 0,25 \times 0,79$$

$$\bar{\rho} = 0,7785 \text{ kg/l (12)}$$

Portanto, em massa, a gasolina corresponde a 52,28% ($0,74 \times 0,55 / 0,7785$) da massa total da mistura, o solvente C-9 corresponde a 22,35% ($0,87 \times 0,20 / 0,7785$) e o AEAC corresponde a 25,37% ($0,79 \times 0,25 / 0,7785$).

A massa molecular da gasolina (C_8H_{14}) é 110,200 g/mols, a do solvente C-9 (C_9H_{12}) é 120,195 g/mols e do AEAC ($C_2H_5OH \cdot 0,018H_2O$) é de 46,393 g/mols, incluso o teor de água presente no AEAC.

Pode-se, então, escrever:

$$46,393 C = 0,2537 (110,200 A + 120,195 B + 46,393 C)$$

$$120,195 B = 0,2235 (110,200 A + 120,195 B + 46,393 C)$$

$$110,200 A = 0,5228 (110,200 A + 120,195 B + 46,393 C)$$

Chamando a massa total de combustível ($110,200 A + 120,195 B + 46,393 C$) de X, obtém-se as equações 13, 14 e 15:

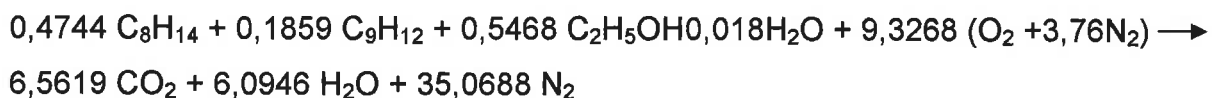
$$A = \frac{0,5228 X}{110,200} = 0,004744 X \quad (13)$$

$$B = \frac{0,2235 X}{120,195} = 0,001859 X \quad (14)$$

$$C = \frac{0,2537 X}{46,393} = 0,005468 X \quad (15)$$

Estabelecida a proporção acima, foram utilizados os valores $A=0,4744$, $B=0,1859$ e $C=0,5468$.

Realizando, então, o balanço da equação química, obtém-se:

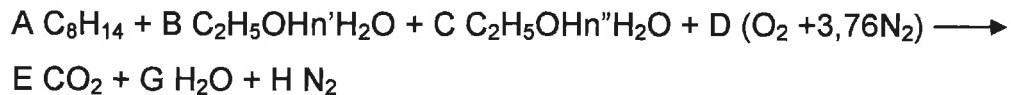


Dessa maneira, a relação mássica combustível-ar estequiométrica do combustível C-9 (F_{C9}) está na equação 16:

$$F_{C9} = \frac{0,4744 \times 110,200 + 0,1859 \times 120,195 + 0,5468 \times 46,393}{9,3268 \times (31,998 + 3,76 \times 28,014)} = \frac{1}{12,81} = 0,0781 \quad (16)$$

4.7.3 Reação estequiométrica do E40

A reação de combustão completa para o combustível E40 pode ser escrita da seguinte maneira:



Os valores de A, B e C são definidos a partir da consideração que 60% do volume de combustível é constituído de gasolina pura (molécula média: C_8H_{14}), 25% é constituído de AEAC e os 15% restantes são AEHC. Os valores de D, E, G e H são obtidos considerando a estequiometria da reação.

$C_2H_5OHn'H_2O$ é a representação do AEAC nessa reação química e $C_2H_5OHn''H_2O$ é a representação do AEHC.

De acordo com os certificados emitidos pelas distribuidoras de combustível, adquiridos para esse experimento, a massa específica da gasolina é 0,74 kg/l, a do álcool anidro de 0,79 kg/l. Os teores alcoólicos, em massa, do AEAC e do AEHC são, respectivamente, 99,3% e 92,6%, considerando o maior teor de água no AEHC.

Desta forma, a massa específica ($\bar{\rho}$) para a mistura E40 é descrita na equação 17:

$$\bar{\rho} = 0,60 \times 0,74 + 0,25 \times 0,79 + 0,15 \times [(0,79 \times 0,926) + (1,00 \times 0,074)] \\ \rho \equiv 0,7623 \text{ kg/l (17)}$$

Portanto, em massa, a gasolina corresponde a 58,24% ($0,74 \times 0,60 / 0,7623$) da massa total da mistura, o AEAC corresponde a 25,91% ($0,79 \times 0,25 / 0,7623$), e o AEHC tem 15,85% ($0,8055 \times 0,15 / 0,7623$).

A massa molecular da gasolina (C_8H_{14}) é de 110,200 g/mols, do AEAC ($C_2H_5OH0,018H_2O$) é de 46,393 g/mols, incluso o teor de água presente no AEAC. E por último, o AEHC ($C_2H_5OHn''H_2O$) é de 46,069 g/mols mais o teor de água presente no AEHC.

Dessa maneira, para determinar a massa de água, temos na equação 18:

$$\% \text{ água em massa} = \frac{n''H_2O}{C_2H_5OH + n''H_2O} \quad (18)$$

$$0,074 = \frac{18,015 \times n''}{46,069 + 18,015 \times n''}$$

$$n'' = 0,204$$

$$n''\text{H}_2\text{O} = 0,204 \times 18,015 = 3,675 \text{ g/mols}$$

Portanto:

$$49,744 C = 0,1585 (110,200 A + 46,393 B + 49,744 C)$$

$$46,393 B = 0,2591 (110,200 A + 46,393 B + 49,744 C)$$

$$110,200 A = 0,5824 (110,200 A + 46,393 B + 49,744 C)$$

Chamando a massa total de combustível ($110,200 A + 46,393 B + 49,744 C$) de X, obtém-se as equações 19, 20 e 21:

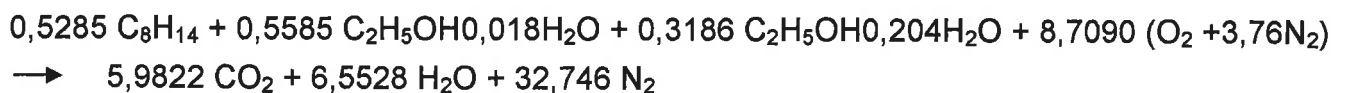
$$A = \frac{0,5824 X}{110,200} = 0,005285 X \quad (19)$$

$$B = \frac{0,2591 X}{46,393} = 0,005585 X \quad (20)$$

$$C = \frac{0,1585 X}{49,744} = 0,003186 X \quad (21)$$

Estabelecida a proporção acima, foram utilizados os valores $A=0,5285$, $B=0,5585$ e $C=0,3186$.

Realizando, então, o balanço da equação química, obtém-se:



Dessa maneira, a relação mássica combustível-ar estequiométrica da mistura E40 (F_{E40}) está na equação 22:

$$F_{E40} = \frac{0,5285 \times 110,200 + 0,5585 \times 46,393 + 0,3186 \times 49,744}{8,7090 \times (31,998 + 3,76 \times 28,014)} = \frac{1}{11,96} = 0,0836 \quad (22)$$

4.7.4 Emissões de poluentes na potência máxima

A relação ar-combustível adimensional observada é descrita pela letra λ (lambda), dada pela equação 23:

$$\lambda = \frac{F_{EST}}{F_{OBS}} \quad (23)$$

O valor F_{EST} é a relação combustível-ar teórica, calculada para os três combustíveis analisados.

Dessa forma, o fator λ é a razão entre a relação combustível-ar teórica (F_{EST}) e a relação combustível-ar observada (F_{OBS}).

O valor de λ utilizado na análise feita a seguir é a média aritmética dos resultados desta grandeza obtidos nas três curvas levantadas para cada combustível, em uma determinada rotação de funcionamento do motor.

Considerando a rotação de potência máxima dos motores para a relação combustível-ar observada, temos os seguintes resultados para cada ensaio realizado nas Tabelas 25, 26 e 27:

Tabela 25: Valor λ do motor E25 na rotação de potência máxima.

Motor E25	Transmissão	Rotação (rpm)	F_{EST}	F_{OBS}	λ
Ensaio 1	5ª marcha	8500	0,0787	0,757	0,104
Ensaio 2	5ª marcha	8500	0,0787	0,781	0,101
Ensaio 3	5ª marcha	8500	0,0787	0,797	0,099
Ensaio 4	5ª marcha	8500	0,0787	0,799	0,098

Tabela 26: Valor λ do motor C9 na rotação de potência máxima.

Motor C9	Transmissão	Rotação (rpm)	F_{EST}	F_{OBS}	λ
Ensaio 1	5ª marcha	8500	0,0787	0,769	0,102
Ensaio 2	5ª marcha	8500	0,0781	0,758	0,103
Ensaio 3	5ª marcha	8500	0,0781	0,777	0,100
Ensaio 4	5ª marcha	8500	0,0781	0,787	0,099

Tabela 27: Valor λ do motor E40 na rotação de potência máxima.

Motor E40	Transmissão	Rotação (rpm)	F_{EST}	F_{OBS}	λ
Ensaio 1	5ª marcha	8500	0,0787	0,777	0,101
Ensaio 2	5ª marcha	8500	0,0836	0,906	0,092
Ensaio 3	5ª marcha	8500	0,0836	0,908	0,092
Ensaio 4	5ª marcha	8500	0,0836	0,912	0,092

As concentrações de CO, CO₂ e HC são avaliadas a partir da vazão em massa total dos gases de escape (\dot{m}_{esc}).

Dessa maneira, temos a equação 24:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{esc} &= \dot{m}_c + \dot{m}_{ar} \\ \dot{m}_{esc} &= \dot{m}_c + \frac{\dot{m}_c}{\lambda}\end{aligned}\quad (24)$$

Sendo \dot{m}_c a vazão em massa do combustível e a \dot{m}_{ar} , a do ar, os valores de vazão em massa do motor 1, 2 e 3 estão, respectivamente, nas Tabela 28, 29 e 30:

Tabela 28: Vazão em massa dos gases de escape do motor E25.

Motor E25	Rotação observada (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Consumo de combustível observado (l/h)	Massa específica calculada (kg/l)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Vazão em massa do escape (kg/h)
Ensaio 1	8500	102,93	3,48	0,7525	2,62	27,84
Ensaio 2	8500	102,93	3,56	0,7525	2,68	29,31
Ensaio 3	8500	102,93	3,56	0,7525	2,68	29,84
Ensaio 4	8500	102,93	3,43	0,7525	2,58	28,80

Tabela 29: Vazão em massa dos gases de escape do motor C9.

Motor C9	Rotação observada (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Consumo de combustível observado (l/h)	Massa específica calculada (kg/l)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Vazão em massa do escape (kg/h)
Ensaio 1	8500	102,93	3,69	0,7525	2,78	29,93
Ensaio 2	8500	102,93	3,51	0,7785	2,73	29,25
Ensaio 3	8500	102,93	3,52	0,7785	2,74	29,99
Ensaio 4	8500	102,93	3,57	0,7785	2,78	30,80

Tabela 30: Vazão em massa dos gases de escape do motor E40.

Motor E40	Rotação observada (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Consumo de combustível observado (l/h)	Massa específica calculada (kg/l)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Vazão em massa do escape (kg/h)
Ensaio 1	8500	102,93	3,52	0,7525	2,65	28,80
Ensaio 2	8500	102,93	3,50	0,7623	2,67	31,59
Ensaio 3	8500	102,93	3,47	0,7623	2,65	31,37
Ensaio 4	8500	102,93	3,45	0,7623	2,63	31,30

A vazão em massa dos gases CO, CO₂ e HC seguem respectivamente as equações 25, 26 e 27:

$$\text{Emissão de CO} = \frac{\% \text{ CO observado}}{100} \times \frac{\text{massa molar CO}}{\text{massa molar Ar}} \times \dot{m}_{esc} \quad (25)$$

$$\text{Emissão de CO}_2 = \frac{\% \text{ CO}_2 \text{ observado}}{100} \times \frac{\text{massa molar CO}_2}{\text{massa molar Ar}} \times \dot{m}_{\text{esc}} \quad (26)$$

$$\text{Emissão de HC} = \frac{\text{ppm HC observado}}{10^6} \times \frac{\text{massa molar HC}}{\text{massa molar Ar}} \times \dot{m}_{\text{esc}} \quad (27)$$

Dessa maneira, os resultados de produção de poluentes para as condições consideradas estão nas Tabelas 31, 32 e 33 para os motores 1, 2 e 3, respectivamente:

Tabela 31: Vazão em massa dos gases HC, CO e CO₂ do motor E25 a 8.500 rpm.

Motor E25	Valores observados			Valores calculados		
	Emissão de HC (ppm)	Emissão de CO (%)	Emissão de CO ₂ (%)	Emissão de HC (g/h)	Emissão de CO (kg/h)	Emissão de CO ₂ (kg/h)
Ensaio 1	244	8,61	9,54	3,27	2,35	4,09
Ensaio 2	224	7,99	9,93	3,15	2,29	4,48
Ensaio 3	248	7,15	10,48	3,56	2,09	4,81
Ensaio 4	259	7,50	10,31	3,59	2,12	4,57

Tabela 32: Vazão em massa dos gases HC, CO e CO₂ do motor C-9 a 8.500 rpm.

Motor C9	Valores observados			Valores calculados		
	Emissão de HC (ppm)	Emissão de CO (%)	Emissão de CO ₂ (%)	Emissão de HC (g/h)	Emissão de CO (kg/h)	Emissão de CO ₂ (kg/h)
Ensaio 1	265	8,58	9,64	3,81	2,51	4,44
Ensaio 2	233	9,08	9,68	3,24	2,57	4,30
Ensaio 3	242	8,23	10,06	3,44	2,38	4,58
Ensaio 4	244	8,00	10,39	3,57	2,38	4,86

Tabela 33: Vazão em massa dos gases HC, CO e CO₂ do motor E40 a 8.500 rpm.

Motor E40	Valores observados			Valores calculados		
	Emissão de HC (ppm)	Emissão de CO (%)	Emissão de CO ₂ (%)	Emissão de HC (g/h)	Emissão de CO (kg/h)	Emissão de CO ₂ (kg/h)
Ensaio 1	251	8,91	9,48	3,48	2,52	4,20
Ensaio 2	143	3,58	12,98	2,15	1,09	6,22
Ensaio 3	153	3,58	12,90	2,27	1,08	6,14
Ensaio 4	165	3,11	13,25	2,45	0,94	6,30

Os motores analisados não têm dispositivos para a redução das emissões de poluentes como o catalisador e sistema de indução de ar, de modo que os valores observados são os efetivos.

Na potência máxima, com a rotação do motor em 8.500 rpm, 5ª marcha acoplada, o veículo estaria a 102,93 km/h. Portanto, as emissões em gramas por quilômetro (g/km), nessas condições, estão nas Tabelas 34, 35 e 36 para os motores 1, 2 e 3, respectivamente:

Tabela 34: Emissão dos gases HC, CO e CO₂ em g/km do motor E25.

Motor E25	Transmissão	Rotação (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Emissão de HC (g/km)	Emissão de CO (g/km)	Emissão de CO ₂ (g/km)
Ensaio 1	5ª marcha	8500	102,93	0,0313	22,48	39,14
Ensaio 2	5ª marcha	8500	102,93	0,0302	21,96	42,89
Ensaio 3	5ª marcha	8500	102,93	0,0340	20,00	46,08
Ensaio 4	5ª marcha	8500	102,93	0,0344	20,26	43,77

Tabela 35: Emissão dos gases HC, CO e CO₂ em g/km do motor C-9.

Motor C9	Transmissão	Rotação (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Emissão de HC (g/km)	Emissão de CO (g/km)	Emissão de CO ₂ (g/km)
Ensaio 1	5ª marcha	8500	102,93	0,0365	24,07	42,54
Ensaio 2	5ª marcha	8500	102,93	0,0314	24,90	41,71
Ensaio 3	5ª marcha	8500	102,93	0,0334	23,14	44,48
Ensaio 4	5ª marcha	8500	102,93	0,0346	23,11	47,16

Tabela 36: Emissão dos gases HC, CO e CO₂ em g/km do motor E40.

Motor E40	Transmissão	Rotação (rpm)	Velocidade calculada (km/h)	Emissão de HC (g/km)	Emissão de CO (g/km)	Emissão de CO ₂ (g/km)
Ensaio 1	5ª marcha	8500	102,93	0,0333	24,08	40,24
Ensaio 2	5ª marcha	8500	102,93	0,0208	10,61	60,42
Ensaio 3	5ª marcha	8500	102,93	0,0221	10,52	59,63
Ensaio 4	5ª marcha	8500	102,93	0,0238	9,13	61,12

Os valores em gramas por quilômetro é um comparativo dos motores analisados e não se refere aos dados de emissões de poluentes com o objetivo de homologação do produto.

4.8 Rendimento dos motores

O rendimento global de um motor é definido como sendo a relação entre a potência observada e a taxa de energia potencialmente liberada com a queima do combustível disponibilizado.

Cada grama dos combustíveis utilizados possui os seguintes conteúdos energéticos:

PCI gasolina pura = 43,58 MJ/kg

PCI C-9 = 44,20 MJ/kg

PCI AEAC = 28,28 MJ/kg

PCI AEHC = 26,40 MJ/kg

PCI E25 = PCI gasolina pura \times 0,7374 + PCI AEAC \times 0,2626 = 39,56 MJ/kg

PCI C-9 = PCI gasolina pura \times 0,5228 + PCI C-9 \times 0,2235 + PCI AEAC \times 0,2537 = 39,84 MJ/kg

PCI E40 = PCI gasolina pura \times 0,5824 + PCI AEAC \times 0,2591 + PCI AEHC \times 0,1585 = 36,89 MJ/kg

O rendimento global (η_g) segue a equação 28:

$$\eta_g = \frac{\text{Potência efetiva}}{\dot{m}_c \times \text{PCI}}$$

$$\eta_g = \frac{1}{C_e \times \text{PCI}} \quad (28)$$

Sendo C_e o consumo específico do combustível.

Portanto, os rendimentos globais, considerando os rendimentos da transmissão de 0,98 entre o eixo secundário e primário e 0,98 entre o eixo primário e virabrequim, estão na Tabela 37 para o motor E25, na Tabela 38 para o motor C9 e na Tabela 39 para o motor E40:

Tabela 37: rendimento global do motor E25.

Motor E25	Rotação (rpm)	Consumo específico de combustível (g/kWh)	PCI (MJ/kg)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Rendimento global η_g
Ensaio 1	8500	402,98	39,56	2,62	0,235
Ensaio 2	8500	409,30	39,56	2,68	0,232
Ensaio 3	8500	421,82	39,56	2,68	0,225
Ensaio 4	8500	411,75	39,56	2,58	0,230

Tabela 38: rendimento global do motor C-9.

Motor C9	Rotação (rpm)	Consumo específico de combustível (g/kWh)	PCI (MJ/kg)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Rendimento global η_g
Ensaio 1	8500	416,97	39,56	2,78	0,227
Ensaio 2	8500	422,67	39,84	2,73	0,223
Ensaio 3	8500	436,58	39,84	2,74	0,216
Ensaio 4	8500	437,50	39,84	2,78	0,215

Tabela 39: rendimento global do motor E40.

Motor E40	Rotação (rpm)	Consumo específico de combustível (g/kWh)	PCI (MJ/kg)	Consumo horário de combustível (kg/h)	Rendimento global η_g
Ensaio 1	8500	406,49	39,56	2,65	0,233
Ensaio 2	8500	415,34	36,89	2,67	0,245
Ensaio 3	8500	429,54	36,89	2,65	0,237
Ensaio 4	8500	438,18	36,89	2,63	0,232

A partir da análise da evolução dos rendimentos dos motores observa-se que a menor variação ocorreu para o motor funcionando com E25; a maior redução de rendimento ocorreu para o motor que consumiu E40, conforme o Gráfico 21.

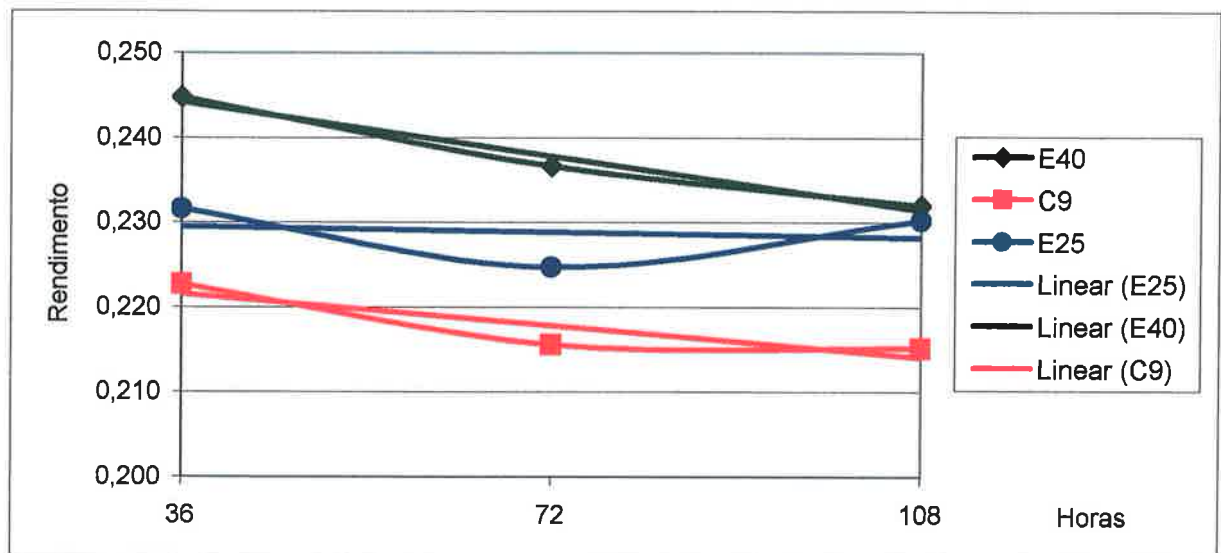


Gráfico 21: Rendimento dos motores na potência máxima.

4.9 Análise do óleo lubrificante

A cada ciclo foram retiradas três amostras de óleo, uma aos dez minutos de durabilidade, a segunda com 18 horas e a última com 36 horas. Na finalização do ciclo, o óleo era substituído por um novo de mesma especificação e lote de produção.

4.9.1 Viscosidade do óleo lubrificante

A evolução da viscosidade do óleo ao longo do experimento pode ser vista no gráfico abaixo.

As cargas de óleo não apresentaram mudanças significativas quanto à viscosidade. Uma pequena queda na viscosidade a 40° cSt no primeiro ciclo foi identificada no motor com combustível C-9, porém, para o período de troca

estabelecido, não houve alterações que pudessem ser associadas a uma adulteração de combustível, de acordo com o Gráfico 22.

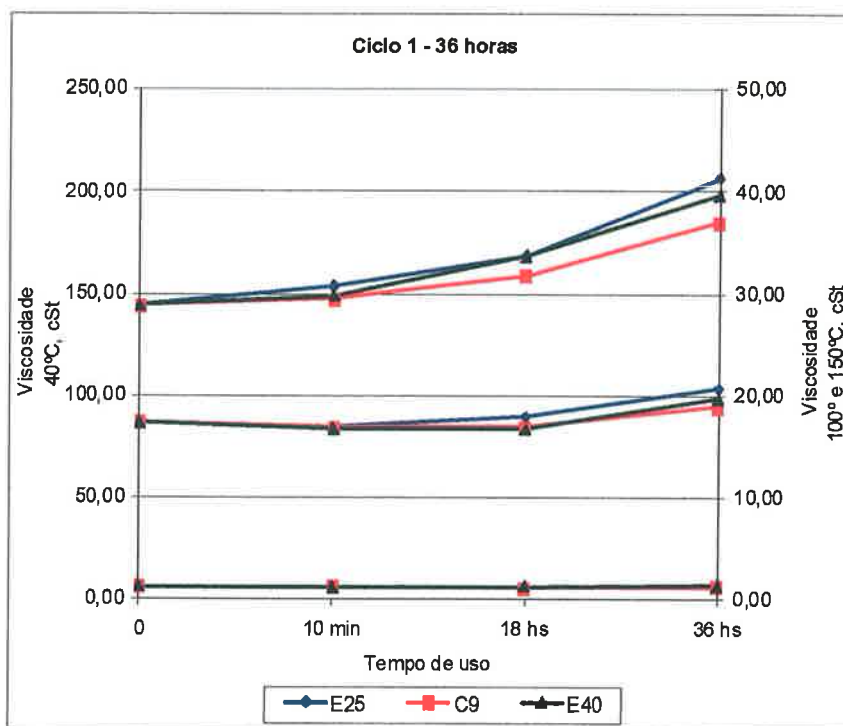


Gráfico 22: Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o primeiro ciclo.

Durante o ciclo 2 e 3, todos os motores tiveram as viscosidade mantidas nas amostras avaliadas, conforme os Gráficos 23 e 24.

Os valores de viscosidade a 100°C e 150°C praticamente não tiveram alteração.

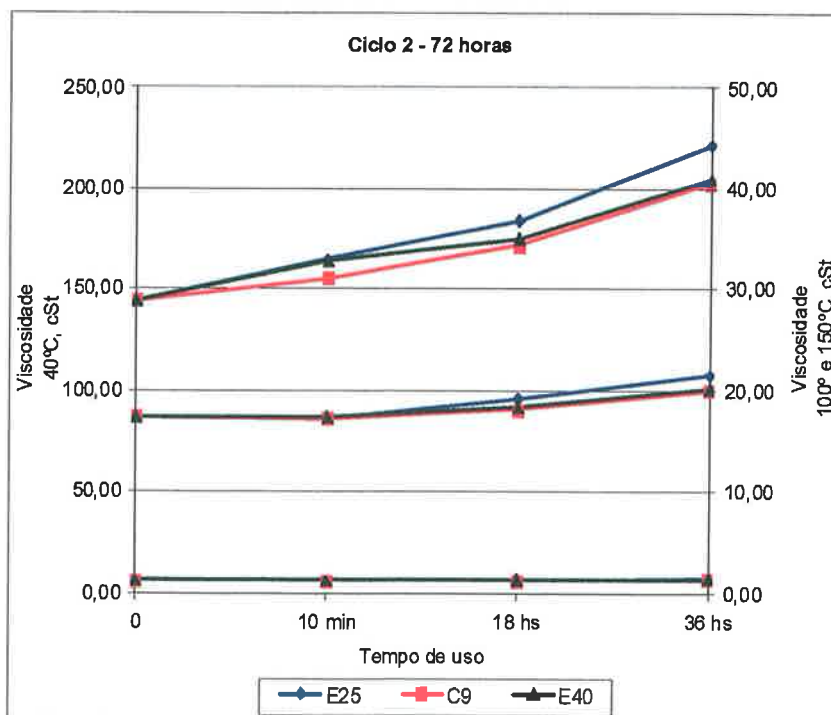


Gráfico 23: Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o segundo ciclo.

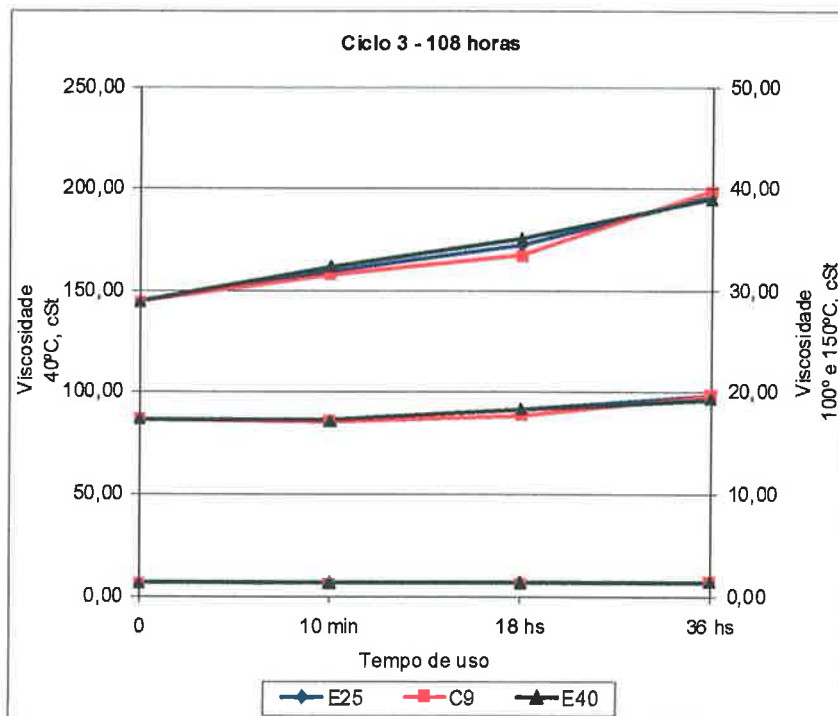


Gráfico 24: Viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o terceiro ciclo.

4.9.2 Índice de viscosidade do óleo lubrificante

Os índices de viscosidade dos três motores seguiram as mesmas tendências nos três ciclos. O motor 1 foi o que teve menor variação do índice de viscosidade, porém a diferença entre os motores não identifica a utilização de combustíveis adulterados dentro do período de troca estabelecida conforme apresentado no Gráfico 25 para o Ciclo 1, no Gráfico 26 para o Ciclo 2 e no Gráfico 27 para o Ciclo 3.

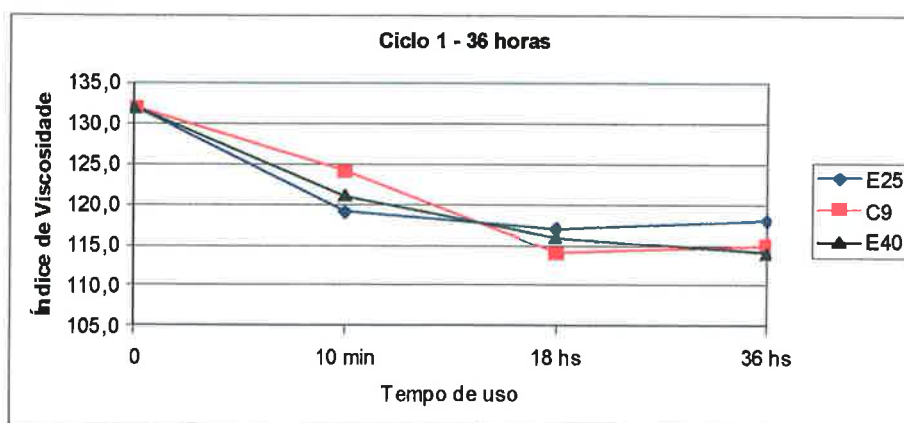


Gráfico 25: Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o primeiro ciclo.

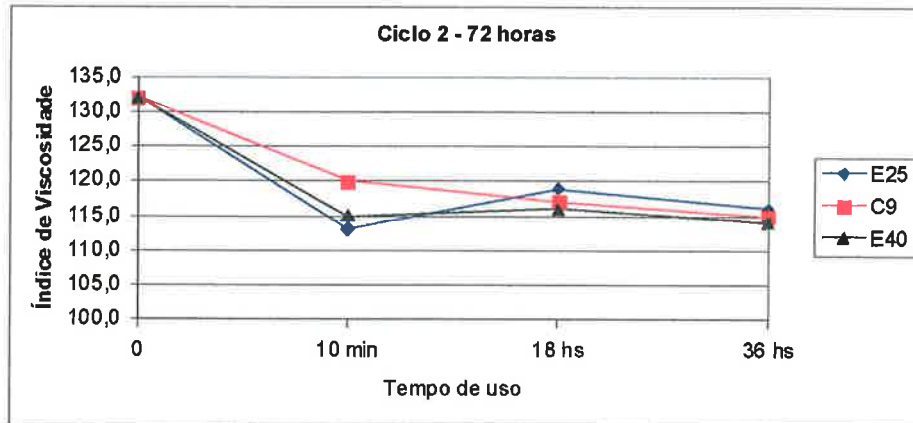


Gráfico 26: Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o segundo ciclo.

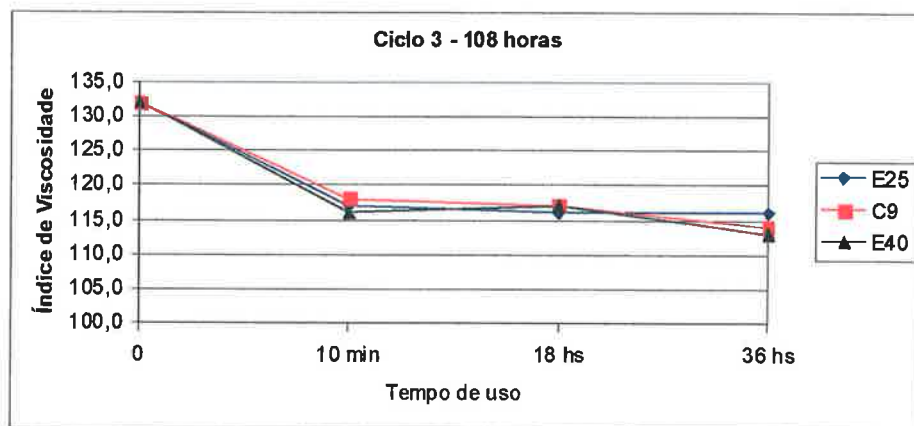


Gráfico 27: Índice de viscosidade do óleo lubrificante nos três motores durante o terceiro ciclo.

4.9.3 Número de basicidade e acidez total

A variação do número de basicidade e acidez total não apresentaram desvios que pudessem identificar os combustíveis utilizados nos experimentos. Devido à semelhança de cada ciclo, apenas para o último ciclo foram apresentados os números de basicidade total (Gráfico 28) e de acidez total (Gráfico 29).

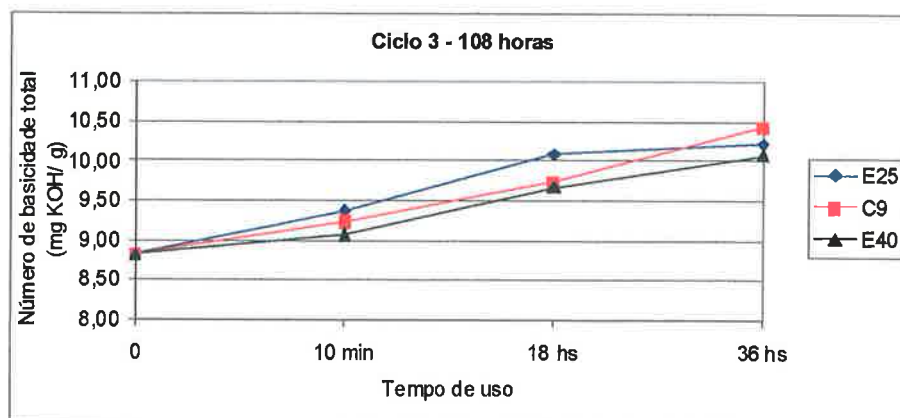


Gráfico 28: Número de basicidade total nos três motores durante o terceiro ciclo (mg KOH/g).

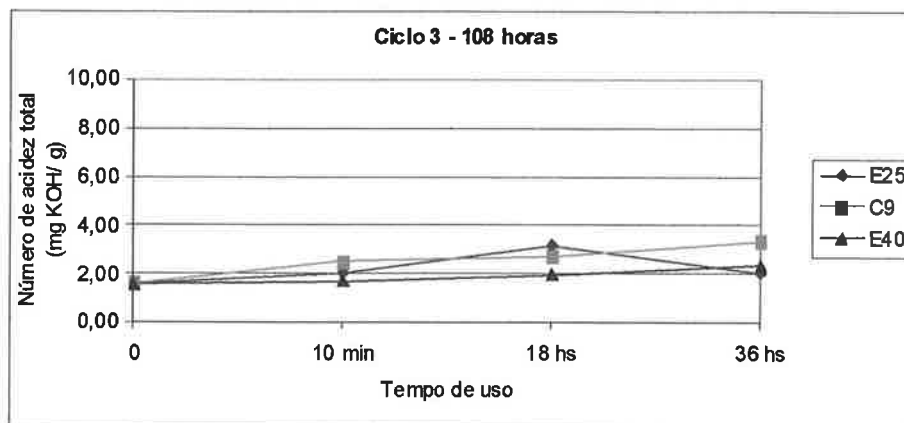


Gráfico 29: Número de acidez total nos três motores durante o terceiro ciclo (mg KOH/ g).

Especificamente o motor E25, primeiro motor rodado no experimento, teve uma coleta de óleo em uma quantidade superior que foi devidamente repostada de modo que não foram observadas variações significativas tanto na basicidade quanto na acidez entre 18 e 36 horas.

4.9.4 Concentrações de metais nos óleos lubrificantes usados

Assim como os números de basicidade e acidez total, as concentrações em ppm de alumínio, ferro e cobre do desgaste dos motores ao longo dos experimentos foram similares.

Dessa maneira, os motores se mostraram resistentes e duráveis mesmo com a utilização de combustíveis adulterados.

Como os gráficos seguem os mesmos padrões de desgastes nos três ciclos, optou-se por apresentar apenas os Gráficos 30, 31 e 32 com o Ciclo 3.

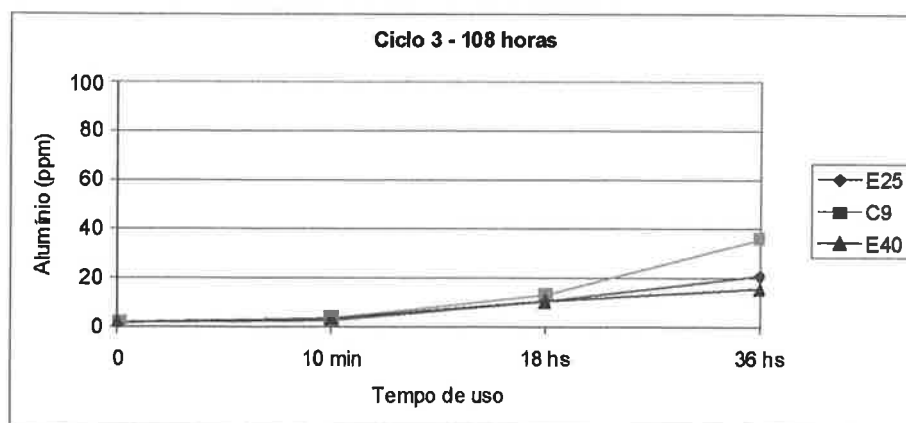


Gráfico 30: Número em ppm de alumínio encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo.

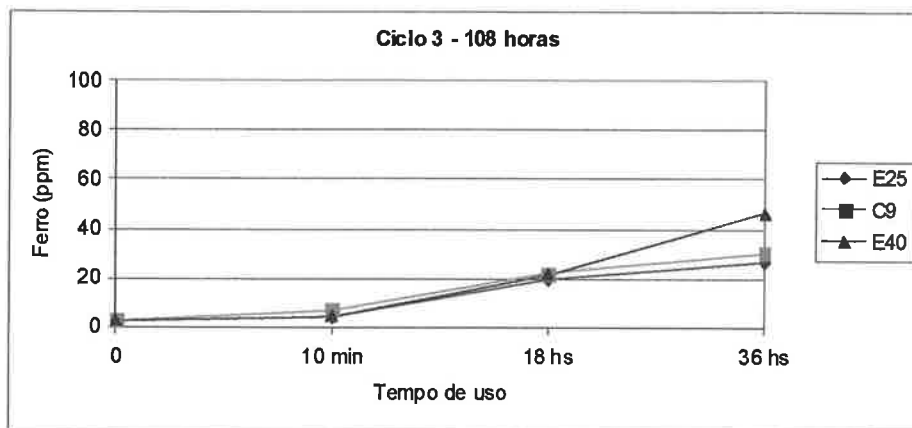


Gráfico 31: Número em ppm de ferro encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo.

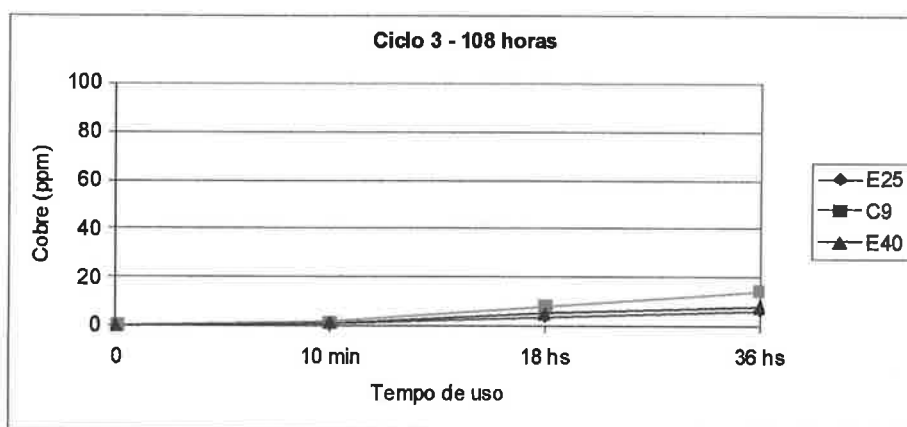


Gráfico 32: Número em ppm de cobre encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo.

4.9.5 Concentração de silício no óleo lubrificante usado

A concentração de silício no óleo lubrificante usado está associada à concentração de partículas de sílica em suspensão que contaminam o ar consumido pelo motor. Os Gráficos 33, 34 e 35 apresentam, respectivamente, os ciclos 1, 2 e 3.

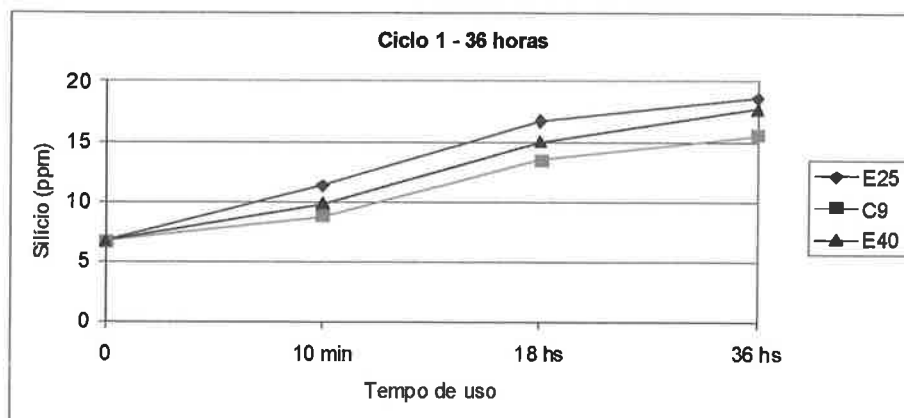


Gráfico 33: Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o primeiro ciclo.

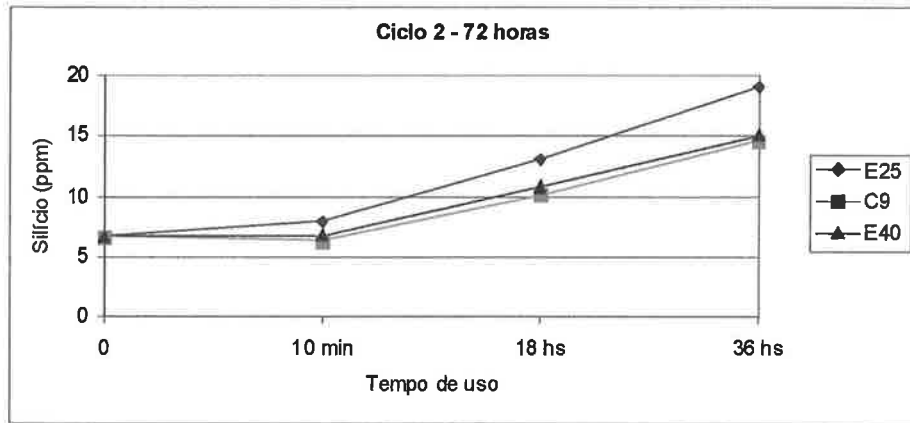


Gráfico 34: Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o segundo ciclo.

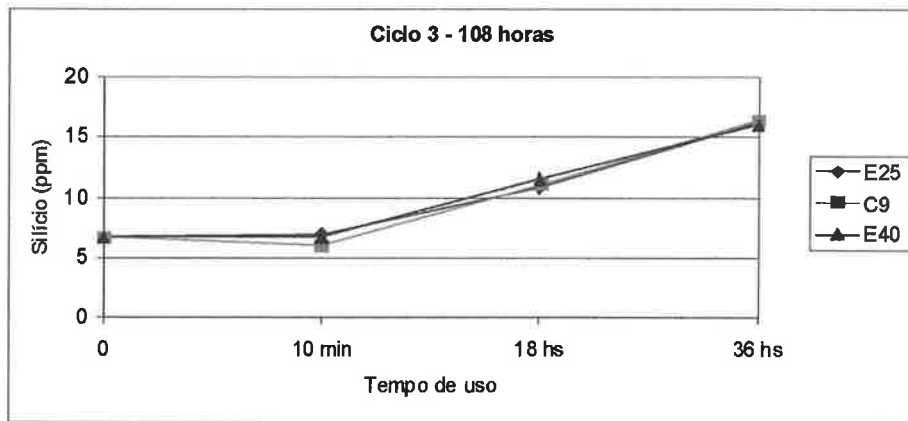


Gráfico 35: Número em ppm de silício encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo.

Dessa maneira, pôde-se comprovar que o local onde foram realizados os experimentos era suficientemente limpo.

4.9.6 Oxidação, nitração e presença de sulfatos do óleo lubrificante

A oxidação mostrou ser o fenômeno mais significativo para a identificação na utilização de um combustível adulterado com a adição do solvente C-9, conforme os Gráficos 36, 37 e 38.

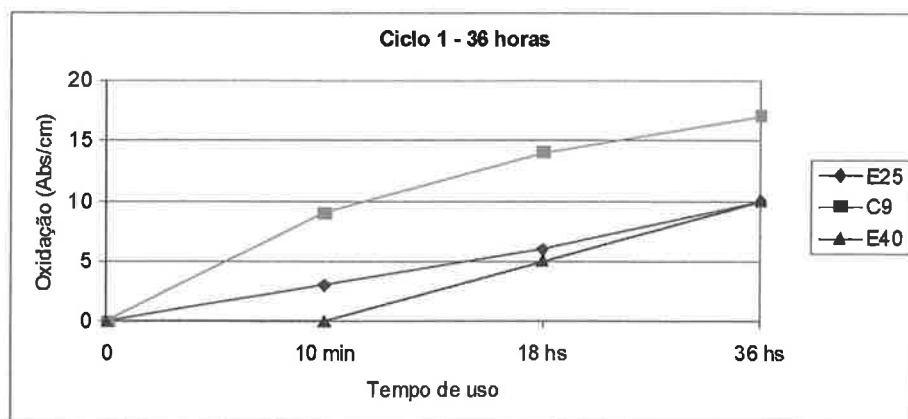


Gráfico 36: Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o primeiro ciclo em Abs/ cm.

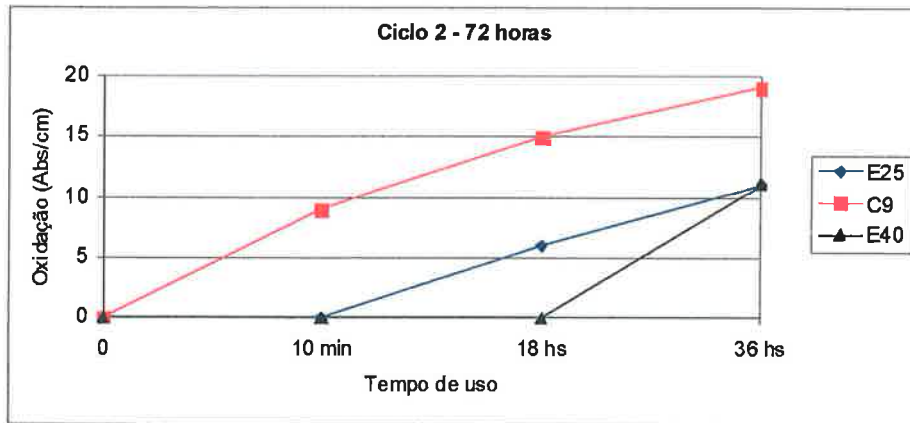


Gráfico 37: Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o segundo ciclo em Abs/ cm.

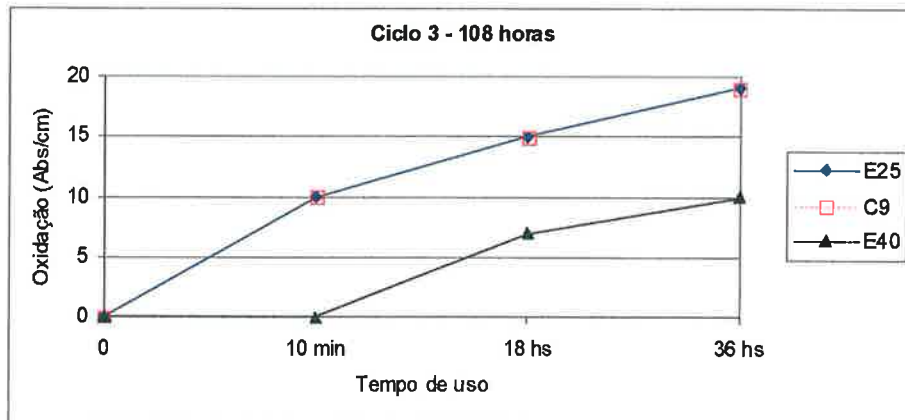


Gráfico 38: Oxidação do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm.

Enquanto as medidas de oxidação dos óleos utilizados nos motores E25 e E40 foram de 10 Abs/cm nos dois primeiros ciclos, o motor 2 apresentou os valores de 17 Abs/ cm no primeiro ciclo e 19 Abs/ cm no segundo.

No terceiro ciclo, tanto o motor E25 como o motor C-9 tiveram a mesma oxidação de 19 Abs/ cm.

Ao contrário dos valores de oxidação, os valores de nitração e sulfatos não se identificam os motores que operaram com os combustíveis adulterados. O Gráfico 39 apresenta o último ciclo de nitração e o Gráfico 40 apresenta o último ciclo na presença de sulfatos.

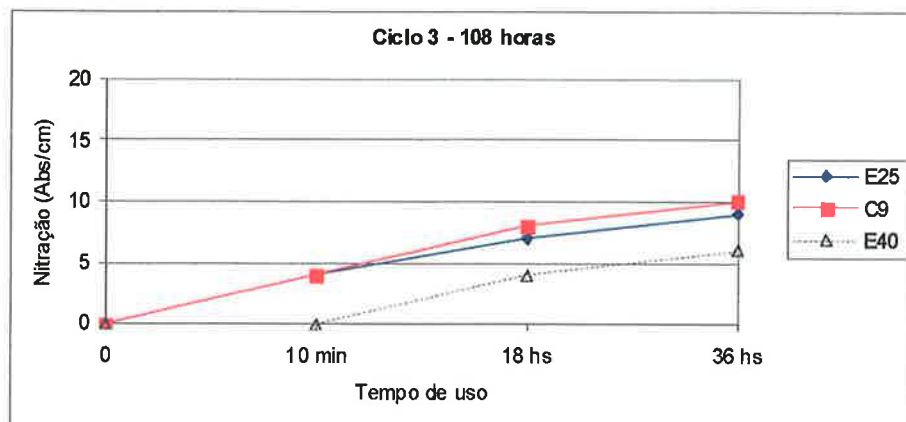


Gráfico 39: Nitração do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm.

Por isso, como os resultados de nitração e presença de sulfatos nos óleos são semelhantes, optou-se por apresentar somente o terceiro ciclo.

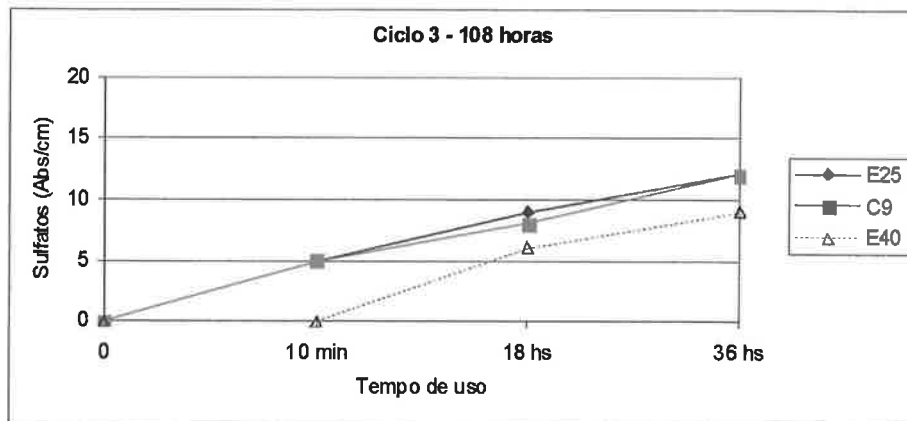


Gráfico 40: Presença de sulfatos do óleo lubrificante encontrado nos três motores durante o terceiro ciclo em Abs/ cm.

4.10 Análise visual das principais peças

A análise visual é essencial na identificação da adulteração. Os depósitos em pistões, anéis e velas de ignição se diferenciaram nas características entre os motores testados.

As principais peças são aquelas que tiveram contato direto com o combustível testado e conseqüentemente são afetadas de forma a apresentarem mais nitidamente os efeitos causados pelas diferentes misturas.

As válvulas tiveram os acúmulos de goma semelhantes entre o motor E25 e motor C-9. O motor que usou E40 teve menor acúmulo de goma, justificada pela adição de AEHC.

A haste da válvula do motor E40 teve o depósito de goma mais concentrado, enquanto os motores E25 e C-9 tiveram depósitos mais porosos.

A adição do solvente C-9 no motor 2, apesar da maior quantidade de hidrocarbonetos aromáticos, teve quantidade e característica do acúmulo de goma semelhantes à observada no motor que operou com E25.

As válvulas de escape não tiveram acúmulo de goma. Os motores que utilizaram E25 e C-9 apresentam depósitos semelhantes em termos de coloração e o motor E40 apresentou uma tonalidade mais clara, decorrente da adição do AEHC.



Figura 12: Válvulas de admissão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).



Figura 13: Válvulas de escape do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

As câmaras de combustão não apresentaram depósitos de carvão. Houve tonalidades diferentes em relação ao combustível testado. O motor E25 apresentou uma tonalidade intermediária entre o motor E40, mais clara, e o motor C-9, mais escura.

Isso se deve ao fato do motor que usou E40 ter trabalhado com mistura mais pobre que os demais. O motor C-9, mesmo trabalhando com uma mistura combustível-ar próxima à do E25, apresentou-se mais carbonizado devido à concentração do solvente C-9.

Nota-se que todas as câmaras de combustão, principalmente do E40, apresentam coloração mais escura do lado oposto a vela de ignição. Isso se deve à ocorrência de combustão menos intensa nessa área.

O motor E25 apresenta uma camada carbonizada na câmara de combustão superior ao C-9, decorrente, provavelmente, pelo número de octano superior ao E25.



Figura 14: Câmara de combustão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

Entretanto, nos pistões são mais nítidas as diferenças entre os depósitos, considerando os combustíveis utilizados.

A coloração mais clara e uniforme em toda parte superior do pistão do motor E25 mostra que a mistura combustível-ar era mais próxima da ideal.

Em contra partida, a tonalidade escura na parte superior do pistão do motor C-9 evidencia que a frente de chama é mais lenta que a estabelecida no motor usando E25, pela maior concentração de moléculas de nove átomos de carbono nessa mistura relativamente ao E25 e E40.

Já no motor E40, encontram-se áreas carbonizadas opostas à vela de ignição, no sentido da válvula de admissão para o escape, que mostra o efeito da maior velocidade da frente de chama nesses locais, o que faz a carbonização ser mais intensa nessa área.



Figura 15: Vista superior do pistão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

Na análise lateral, verifica-se que a posição dos anéis estavam corretas e as maiores perdas dos gases são evidenciados nos anéis de compressão do motor E40.

A concentração maior de álcool combustível no motor E40 dificultou a lubrificação do cilindro e conseqüentemente aumentou o desgaste dos anéis, principalmente o segundo anel de compressão.

Essa situação foi evidenciada devido ao maior desgaste do segundo anel com a perda do tratamento superficial. Além disso, há uma tonalidade escura na lateral decorrente dos gases de escape que foram para o cárter após a combustão.



Figura 16: Vista lateral do pistão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).



Figura 17: Outra vista lateral do pistão do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

Os cilindros em todos os testes de durabilidade não apresentaram diferenças visuais significativas entre eles. Os riscos nos cilindros são semelhantes entre os motores testados.



Figura 18: Cilindro do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

A cuba do carburador do motor E40 apresentou resíduos no fundo do dreno decorrente do excesso do álcool combustível utilizado na mistura. Estes resíduos podem causar entupimentos nos componentes do carburador.

A cuba do motor E25 e C-9 mantiveram sem resíduos em todo o experimento.



Figura 19: Cuba do carburador do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

Quanto às velas de ignição, coloração do eletrodo da vela de ignição mais clara está associada à do motor que utilizou E40, a mais escura está associada ao motor que utilizou C-9 e a tonalidade intermediária ao motor que utilizou E25.



Figura 20: Vela de ignição do motor E25 (esquerda), motor C-9 (centro) e motor E40 (direita).

4.11 Medições físicas dos motores

De modo a simplificar a apresentação dos dados, as tabelas a seguir têm as medidas iniciais, obtidas antes do amaciamento, e as medidas finais, obtidas depois do teste de durabilidade.

O período de tempo em que cada motor foi ensaiado, considerando amaciamento, levantamento das curvas de potência e ensaio de durabilidade totalizou mais de 125 horas.

Na Tabela 40 são mostrados os valores das massas das válvulas para cada motor, no início e no final do trabalho.

Tabela 40: Massa das válvulas em gramas.

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Depósito na válvula	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	21,084	18,091	21,262	18,149	0,178	0,058
C9	21,498	18,171	21,659	18,230	0,161	0,059
E40	20,641	18,303	20,783	18,367	0,142	0,064

A massa da bóia, conforme a Tabela 41, do carburador do motor que usou E40 foi a que apresentou maior variação, seguida por aquela do motor que usou C-9. Dessa forma, fica caracterizado que tanto o excesso de álcool no combustível como a presença de solvente alteram as composições do material da bóia de combustível ao longo do tempo de uso. É importante lembrar que o aumento de massa pode implicar em enriquecimento da mistura ao longo do tempo (o nível da cuba se eleva).

Tabela 41: Massa das bóias do carburador em gramas.

Motor	Valor inicial	Valor final	Acúmulo
E25	5,818	5,825	0,007
C9	5,822	5,853	0,031
E40	5,832	5,900	0,068

Conforme pode-se observar na Tabela 42 a seguir, os elastômeros do carburador não tiveram suas massas alteradas de formas diferentes.

Tabela 42: Massa dos elastômeros do carburador em gramas após os testes de durabilidade.

Elastômeros (gramas)	E25	C9	E40
Vedação do afogador	0,064	0,062	0,063
Vedação do pistonete	0,222	0,231	0,201
Vedação do enriquecedor	2,268	0,271	0,270
Vedação do difusor	0,069	0,067	0,069

As avaliações dos diâmetros dos cilindros mostram que não ocorreram danos significativos com o uso de qualquer dos três combustíveis, sendo que as tolerâncias

mantiveram-se dentro dos valores especificados em projeto de acordo com os dados apresentados na Tabela 43 e 44.

Tabela 43: Valor inicial do diâmetro interno do cilindro (mm).

Motor	D1	D2	D3	D4	D5	D6
E25	54,011	54,009	54,010	54,011	54,010	54,014
C9	54,009	54,008	54,011	54,008	54,012	54,012
E40	54,011	54,011	54,012	54,013	54,013	54,015

Tabela 44: Valor final do diâmetro interno do cilindro (mm).

Motor	D1	D2	D3	D4	D5	D6
E25	54,012	54,009	54,013	54,011	54,012	54,014
C9	54,011	54,008	54,011	54,008	54,013	54,012
E40	54,013	54,011	54,012	54,013	54,013	54,015

Conseqüentemente, os valores de conicidade e ovalização não tiveram alteração no decorrer do experimento conforme as Tabelas 45 e 46.

Tabela 45: Conicidade do cilindro (mm).

Motor	Conicidade "T"	
	Valor inicial	Valor final
E25	0,003	0,002
C9	0,003	0,002
E40	0,004	0,002

Tabela 46: Ovalização do cilindro (mm).

Motor	Ovalização "R"	
	Valor inicial	Valor final
E25	0,002	0,004
C9	0,004	0,005
E40	0,002	0,002

Por análise visual, os depósitos formados sobre os pistões apresentaram diferentes nuances de coloração na cabeça do pistão com o uso dos diferentes combustíveis. O uso do E40 gerou o tom mais claro e o uso do C-9 gerou o tom mais escuro. Quanto ao desgaste, todos os pistões tiveram valores dentro das tolerâncias estabelecidas em projeto conforme a Tabela 47.

Tabela 47: Diâmetro do pistão (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final	Desgaste
E25	53,981	53,922	0,059
C9	53,979	53,942	0,037
E40	53,980	53,938	0,042

As folgas entre o cilindro e pistão apresentaram os valores na Tabela 48, mantendo-se dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 48: Folga entre cilindro e pistão (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final
E25	0,033	0,092
C9	0,033	0,070
E40	0,035	0,077

A análise visual nos anéis do pistão mostrou que somente o anel secundário de compressão do motor E40 apresentou maior desgaste. Na análise física todos os anéis estão dentro do limite especificado em projeto de acordo com a Tabela 49.

Tabela 49: Folga lateral dos anéis (mm).

Motor	Valor inicial			Valor final			Desgaste dos anéis		
	Superior	Secundário	Raspador	Superior	Secundário	Raspador	Superior	Secundário	Raspador
E25	0,05	0,03	0,12	0,06	0,04	0,13	0,06	0,04	0,13
C9	0,05	0,04	0,12	0,06	0,04	0,13	0,06	0,04	0,13
E40	0,04	0,03	0,12	0,06	0,04	0,14	0,06	0,04	0,14

Sobre o cilindro de cada motor, foram medidas as folgas entre pontas conforme as Tabelas 50 e 51. Seguindo os resultados anteriores, os anéis, apesar de funcionar com diferentes misturas de combustíveis, tiveram desgastes dentro do especificado em projeto. O motor C-9, entretanto, teve um desgaste um pouco superior aos demais conforme a Tabela 52.

Tabela 50: Valor inicial da folga entre pontas dos anéis (mm).

Motor	Superior	Secundário	Raspador/ óleo	
			Superior	Inferior
E25	0,29	0,29	0,45	0,49
C9	0,26	0,31	0,40	0,45
E40	0,30	0,32	0,50	0,46

Tabela 51: Valor final da folga entre pontas dos anéis (mm).

Motor	Superior	Secundário	Raspador/ óleo	
			Superior	Inferior
E25	0,30	0,40	0,55	0,60
C9	0,26	0,40	0,60	0,64
E40	0,30	0,40	0,55	0,55

Tabela 52: Desgaste entre pontas dos anéis (mm).

Motor	Superior	Secundário	Raspador/ óleo	
			Superior	Inferior
E25	0,01	0,11	0,10	0,11
C9	0,00	0,09	0,20	0,19
E40	0,00	0,08	0,05	0,09

Por último, verificou-se que praticamente não houve desgaste na bomba de óleo trocoidal, de acordo com a Tabela 53.

Tabela 53: Desgaste da bomba de óleo trocoidal (mm).

Motor	Valor inicial			Valor final			Desgaste da bomba de óleo		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
E25	0,110	0,050	0,080	0,110	0,100	0,100	0,000	0,050	0,020
C9	0,100	0,070	0,120	0,100	0,070	0,120	0,000	0,000	0,000
E40	0,110	0,090	0,080	0,110	0,120	0,080	0,000	0,030	0,000

No teste de vedação das válvulas, todos os motores apresentaram pequenos vazamentos após a desmontagem sem ficar identificada nenhuma anomalia associada ao uso de um combustível específico.

Em resumo, na análise física dos motores ensaiados, os desgastes, em geral, foram semelhantes, não havendo uma identificação clara do efeito da adulteração.

5. CONCLUSÕES

O primeiro resultado importante a ser destacado é que o combustível adulterado com 20% de C-9, mantendo a porcentagem de 25% de AEAC, está de acordo com as especificações da ANP para gasolina comum tipo C conforme a Portaria ANP n°. 309 de 27/12/2001. Essa adulteração só seria identificada por análise de presença de marcador químico, introduzido antes do combustível deixar a petroquímica, enquanto o E40 é facilmente identificado com uma simples medição de teor alcoólico,

A principal diferenciação na análise dos combustíveis testados e preestabelecidos foi encontrada no desempenho do motor. Considerando que os motores não devem apresentar uma perda de desempenho superior a 7% ao longo do ensaio de durabilidade, tanto o motor C-9 como o motor E40 estariam reprovados. Porém, comparando o motor E25 com o C-9 no quesito desempenho, dificilmente o consumidor final notaria maiores prejuízos com o uso contínuo do combustível C-9.

Em altas rotações, os consumos de combustível de E25 e C-9 ficaram muito próximos de modo que torna-se quase impossível identificar o uso de combustível adulterado. Ao contrário, o E40 chega a ter um consumo aumentado em 10% nessa faixa de rotação quando comparado ao consumo de E25.

Nas emissões de poluentes, foram feitas medições parciais e finais ao longo do experimento. Os gases analisados foram os mesmos verificados na inspeção veicular do município de São Paulo que se inicia em 2009.

Novamente, os valores obtidos com o uso de E25 e de C-9 ficaram próximos. Isto é, mesmo com um combustível adulterado com a adição de 20% do solvente C-9, dependendo dos critérios de avaliação na inspeção veicular, a motocicleta poderia passar na inspeção de caráter ambiental.

Comparando as emissões do motor E25 com E40, os resultados mostraram que a adição de 15% de AEHC possibilita uma queda drástica nas emissões de CO e HC, reduzindo-as em 60% e 30%, respectivamente. Entretanto, as emissões de CO₂ aumentaram 16% em relação ao motor E25, compatível com sua menor eficiência.

Entretanto, após a desmontagem dos motores, na análise visual, o motor que apresentou maior desgaste foi o que usou E40, especificamente nos anéis do pistão.

Na verificação dimensional das principais peças, todas estavam em conformidade com as especificações do projeto. Os motores que utilizaram C-9 e E40

durante o ensaio de durabilidade, continuaram a apresentar desgastes dentro das tolerâncias permitidas pela fabricante.

Os elastômeros no carburador, medidas no final do experimento, não tiveram alteração significativa de massa nos três motores. Na massa da bóia de combustível, enquanto o motor E25 aumentou 0,12%, no C-9 houve um acréscimo de 0,53% e no E40, 1,16%. A utilização prolongada de combustível adulterado pode alterar a posição da bóia de combustível e conseqüentemente, aumentar o consumo.

O motor E40 apresentou resíduos no fundo do dreno da cuba do carburador decorrente do excesso do álcool combustível utilizado na mistura. Estes resíduos podem causar entupimentos nos componentes do carburador, impedindo o funcionamento do motor.

As válvulas tiveram os acúmulos de goma semelhantes entre o motor E25 e motor C-9. Enquanto que o motor E40 teve menor acúmulo de goma principalmente pela adição de AEHC. A haste da válvula do motor E40 teve o depósito de goma mais concentrado, enquanto que os motores E25 e C-9 tiveram depósitos mais porosos.

Caso o carburador esteja dentro das especificações do modelo em análise, uma das formas de verificar se o combustível está adulterado com a adição de C-9, sem a necessidade de desmontá-lo, seria por meio da coloração do eletrodo da vela de ignição. A tonalidade tenderia a ser mais escura que a observada quando se consome E25. No caso de motor que consome E40, o eletrodo teria uma coloração mais clara.

Nas análises do óleo lubrificante, a viscosidade e o índice de viscosidade ficaram com valores muito próximos para os três motores, não se tornando uma forma cabal para a verificação de adulteração no combustível utilizado. Da mesma forma, os desgastes avaliados pelos teores de ferro, alumínio e cobre, seguindo os mesmos princípios das medições físicas, também não identificam satisfatoriamente a adulteração.

O único resultado das análises de óleo lubrificante que evidenciou uma diferenciação entre os motores foi a oxidação. O motor que consumiu C-9 teve seu óleo oxidado mais intensamente que o que usou E25. Isso indica que uso contínuo do combustível adulterado com C-9 pode causar sérios danos ao motor se o período de troca de carga recomendado pelo fabricante não for reduzido. No caso da oxidação do óleo lubrificante do motor E40, ficou semelhante à oxidação do motor E25.

A qualidade dos resultados apresentados é fortemente dependente da classe de potência dos motores utilizados nos ensaio. Ensaio com motores mais eficientes e de maiores potências máximas gerariam resultados mais diferenciados.

Notou-se que o número limitado de motores nesse estudo, um para cada mistura de combustível, não permite tirar resultados estatisticamente confiáveis. Recomenda-se para trabalhos futuros o uso de pelo menos três motores para cada mistura de combustível.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. Q., TEIXEIRA L. S. G., GUIMARÃES P. R. B., et al, Estudo de uma Gasolina Formulada a partir de Mistura de Diferentes Solventes Comerciais, 3º Congresso da Associação Brasileira das Agências de Regulação, ABAR, Vol. 2003.

ALVAREZ, J. Novas Rotas Tecnológicas para o Mercado Brasileiro, Seminário da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. São Paulo, julho de 2006.

ANP– Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência dos Estudos Estratégicos. Conjuntura e Informação. Solventes. Abril e Maio de 1999, nº4.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Especificação da Gasolina C. Resolução nº309 de 27/12/2001.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Especificações do Álcool Etílico Anidro Combustível (AEAC) e do Álcool Etílico Hidratado Combustível (AEHC). Resolução nº36 de 06/12/2005.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Qualidade de Produtos – SQP, Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis – PMQC, Boletim Mensal da Qualidade dos Combustíveis Automotivos Brasileiros, de janeiro de 2006 a novembro de 2008.

AZEVEDO, D.A., WIEDMANN, L.S.M., d'ÁVILA, L.A.; Adulteration detection of Brazilian gasoline samples by statistical analysis; *Fuel*; v. 84; p. 467-473; 2005.

BENFAREMO, N., LIU, S. C., Aditivos para Óleos de Câter de Motores, Publicação Texaco Brasil S.A. Vol. 76, número 1, 1991.

BALL, D. J., BRIMBLECOMBE, P, NICHOLAS, F. M. Review of air quality criteria for the assessment of near-field impacts of road transport. TRRL Contractor Report 240. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1991.

BRASKEM, Benzeno – Ficha de Segurança de Informação de Produto Químico, Braskem S/A, pág. 1-23. Site: www.braskem.com.br, 07/2007.

DIAS, A. J., **MACHADO**, P. A. O., **MACHADO** E. H., **DIANA** R. A. D. Entendendo a Adulteração de Combustíveis. Grupo de Combate à Adulteração de Combustíveis do Ministério Público Federal no Estado de São Paulo. Endereço eletrônico: www.prsp.mpf.gov.br/marilia. Segunda edição, maio de 2007.

DUTRA, L. E. D. O Mercado e a Qualidade dos Combustíveis Automotivos. Agência Nacional de Petróleo, janeiro de 2004.

FLUMIGNAN, D. L., **SILVA**, C. E. F., **FERREIRA**, F. O. **TANAKA**, G. T. **OLIVEIRA**, J. E., et al., Seleção de amostras de gasolina para análise de marcadores através da análise explanatória quimiométrica dos parâmetros físico-químicos de monitoramento, 4º PDPETRO, Campinas, SP 4.4.0487 – 1, 21 a 24 de Outubro de 2007.

GRAEDEL, T. E., **HAWKINS**, D. T., **CLAXON**, L. D. Atmospheric chemical compounds. Academic Press, Orlando, Florida, 1986.

HEYWOOD, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGrawHill, 1988.

JUNG, C. F. Metodologia para pesquisa e desenvolvimento aplicado a novas tecnologias, produtos e processos. Rio de Janeiro: Axcel Editora, 2004.

MENDES, P. Desafios no combate à adulteração de gasolina por solventes: Programa de Marcação de Solventes. Informe Conjuntura e Informação, número 40, março de 2008.

OLIVEIRA, F. S. D., **TEIXEIRA**, L. S. G., **ARAUJO**, M. C. U., et al., "Screening Analysis to Detect Adulterations in Brazilian Gasoline Samples Using Distillation Curves" Fuel, Vol. 83, 7-8, 2004/5, pág. 917-923, 2004.

OWEN, K., **COLEY**, T., et al., Automotive Fuels Reference Book, segunda edição, Society of Automotive Engineers, Inc, 1990.

PORTO, G. Estatal defende uso exclusivo de álcool anidro. *Jornal O Estado de São Paulo*, Ribeirão Preto, 24 de março de 2006.

POULTON, M.L., *Alternative Fuels for Road Vehicles*, Computational Mechanics Publications, 1994.

PUBLICAÇÃO FIAT AUTOMÓVEIS S.A., PALIO, SIENA, PALIO WEEKEND, STRADA, Manual de uso e manutenção, sem código, páginas A-129, A-130, A-131, F-13 e F-14, setembro de 2006.

PUBLICAÇÃO FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA., FORD KA, Manual do Proprietário, Garantia e Manutenção, código 97KX-19A321-CC, 4ª edição, páginas 12-3 e 14-4, fevereiro de 2007.

PUBLICAÇÃO FORD MOTOR COMPANY BRASIL LTDA., FORD KA, Folha avulsa do Manual do Proprietário, Garantia e Manutenção, fevereiro de 2007.

PUBLICAÇÃO GENERAL MOTORS DO BRASIL LTDA., MONTANA, Manual do proprietário, código 93381351, páginas 13-5, 13-6 e 14-3, novembro de 2005.

PUBLICAÇÃO JORNAL DA TARDE, Seção Defenda-se, caderno semanal do *Jornal do Carro* nº 1226, nº 1228, nº 1232 e nº 1233, cidade de São Paulo, no período de 14 de fevereiro a 04 de abril de 2007.

PUBLICAÇÃO MOTO HONDA DA AMAZÔNIA LTDA., CG150 TITAN KS, ES, ESD, CG150 SPORT, CG150 JOB, Manual do proprietário, páginas 2-2 e 4-9, março de 2007.

PUBLICAÇÃO VOLKSWAGEN DO BRASIL LTDA., GOL, PARATI, Manual de Instruções, código 241.BR7.GLM.66, página 2-67, edição português de janeiro de 2004.

PUBLICAÇÃO YAMAHA MOTOR DO BRASIL LTDA., YBR125K, YBR125E, YBR125ED, Manual do proprietário, código 5LX-F8199-P3, 5ª edição, página 4-9, março de 2003.

PUBLICAÇÃO YAMAHA MOTOR DO BRASIL LTDA., YBR125, Manual de Serviço, código 5HH-F8197-P0, 1ª edição, fevereiro de 2000.

PUBLICAÇÃO YAMAHA MOTOR DO BRASIL LTDA., YBR125K, YBR125E, YBR125ED, Catálogo de Peças, código 1D5HH-280P1, 1ª edição, agosto de 2004.

PUBLICAÇÃO YAMAHA MOTOR CO., LTD., Yamaha Technical Academy – Bronze, Motorcycle Service Engineering General, código 90894-00105, 1ª edição, junho de 2000.

PUBLICAÇÃO YAMAHA MOTOR DO BRASIL LTDA., YZF-R1, Manual de Serviço, código 4C8-F8197-W0, 1ª edição, outubro de 2007.

ROLLI, C. Cresce fraude de solvente como combustível. Jornal Folha de São Paulo. São Paulo, agosto de 2005.

SA, W. Aditivção Total da Gasolina no Brasil, Seminário da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. ABRAFA (Associação Brasileira dos Fabricantes de Aditivos). São Paulo, 15 de maio de 2008.

SIMIONATTO, E. L. Entrevista concedida a revista eletrônica do departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Endereço eletrônico: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/gasolina/html>, novembro de 2006.

SOUZA NETO, G. J., MARINHO K. L. C., SILVEIRA NETO O. S. Responsabilidade Civil dos Distribuidores e Revendedores por Adulteração de Combustíveis à Luz do Direito do Consumidor. Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador-BA, outubro de 2005.

STEINBAUM, V. Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – Programa I/M-SP. Seminário da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. Prefeitura do Município de São Paulo. São Paulo, 15 de maio de 2008.

TAKESHITA, E. V. Adulteração de Gasolina por Adição de Solventes: Análise dos Parâmetros Físico-químicos. Dissertação submetida ao programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para orientação do título de mestre em Engenharia Química. Florianópolis-SC, março de 2006.

7.1 APÊNDICE A – Procedimento para a medição das principais peças

Antes de iniciar os testes de durabilidade foram desmontados os três motores para certificação das folgas e dimensões das peças (protocolamento). As medições realizadas nas válvulas de admissão e escape são: o comprimento livre das molas com a utilização de um paquímetro centesimal como mostra a Figura A1, o diâmetro interno dos guias de válvulas com um emicro milesimal como mostra a Figura A2, o diâmetro das hastes das válvulas com um micrômetro milesimal, a folga entre as hastes e os guias de válvulas com uma simples subtração dos valores encontrados e as massas das válvulas e bóia de combustível para uma futura comparação.

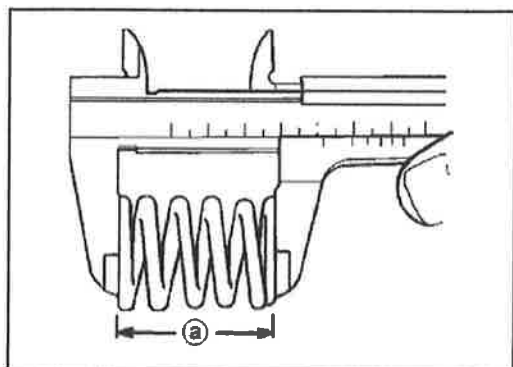


Figura A1: Comprimento da mola da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

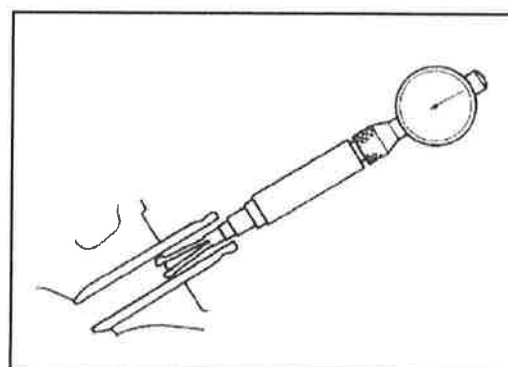


Figura A2: Diâmetro interno do guia da válvula (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

No eixo comando foram medidos os cames no círculo de base e no ressalto com o micrômetro milesimal como mostra a Figura A3. Os diâmetros internos dos balancins foram medidos com o uso de um emicro milesimal; os diâmetros externos dos pinos dos balancins com um micrômetro milesimal como mostra a Figura A4 e as folgas entre os balancins e os pinos com uma simples subtração dos valores encontrados. Além disso, mediu-se a folga entre os eletrodos da vela de ignição (*gap*) utilizada.

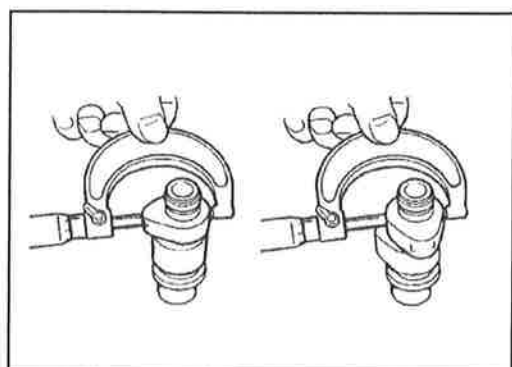


Figura A3: Dimensões do came do comando de válvulas (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

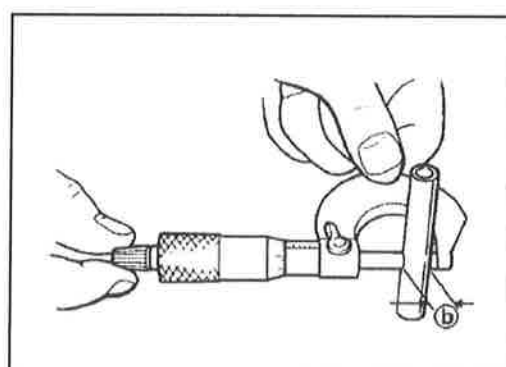


Figura A4: Diâmetro externo do pino do balancim (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

No motor, foi medido o diâmetro interno do cilindro com um micrômetro e um relógio comparador milesimal como mostra a Figura A5. As seis medidas realizadas foram distribuídas em dois pontos cruzados no PMS, próximos ao cabeçote, dois em seção intermediária e dois no PMI localizados na região das aletas do cilindro. Das três medições, o diâmetro do cilindro é o maior valor encontrado conforme o manual de serviço do modelo. Além do diâmetro, são medidas a conicidade e a ovalização. A conicidade é a subtração dos valores encontrados, conforme a figura abaixo, no mesmo eixo vertical entre D1, D3 e D5 ou entre D2, D4 e D6. A ovalização é o maior número encontrado na subtração entre D1 e D2 ou D3 e D4 ou D5 e D6.

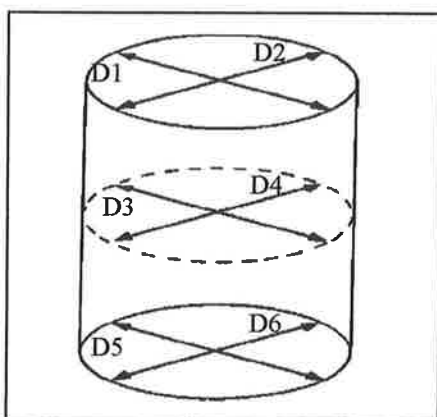


Figura A5: Diâmetro interno do cilindro (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

O pistão é medido com um micrômetro milesimal na parte inferior. O micrômetro é posicionado a uma distância (a) de 4,5 milímetros, conforme a Figura A6. A subtração do maior diâmetro interno encontrado no cilindro com o diâmetro externo do pistão é a folga entre o cilindro e pistão. Além disso, foram medidos o diâmetro interno do furo passante do pino do pistão como mostra a Figura A7, o diâmetro externo do pino do pistão e a folga.

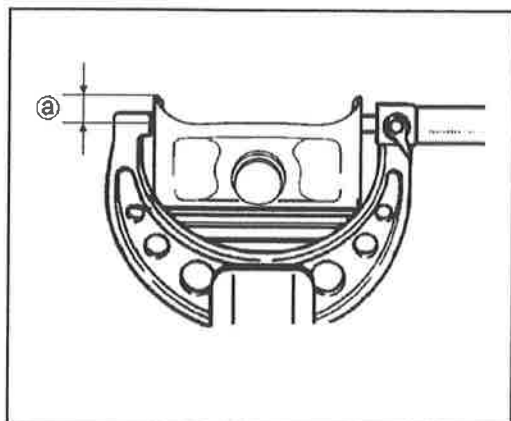


Figura A6: Diâmetro do pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

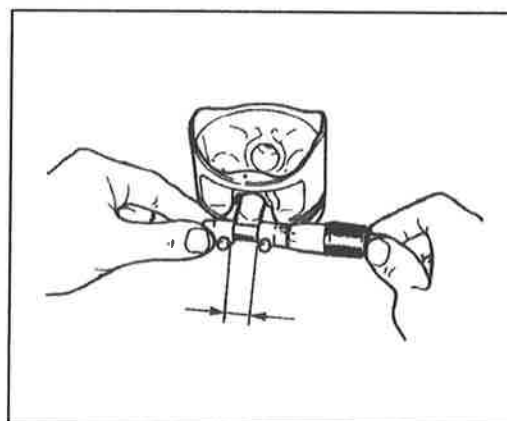


Figura A7: Diâmetro interno do pino do pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Os anéis de vedação, raspador e de óleo são medidos com o calibrador de lâminas a folga lateral e a folga entre pontas no cilindro. A primeira medição é feita com os anéis instalados no pistão como mostra a Figura A8 e a segunda com cada anel no cilindro como mostra a Figura A9. Para medir no cilindro, é necessário que o pistão seja empurrado de cima para baixo de forma que o anel fique paralelo com a base do cilindro. Não se mede a folga entre o anel de óleo e o cilindro.

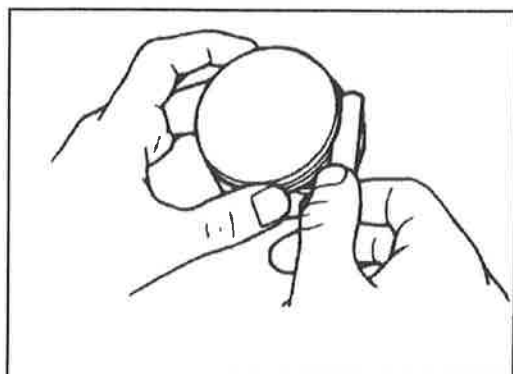


Figura A8: Folga dos anéis no pistão (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

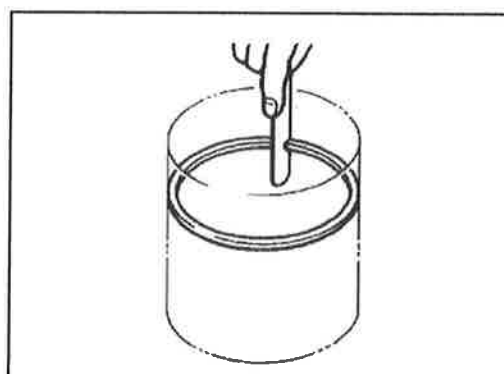


Figura A9: Folga dos anéis no cilindro (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

Na parte inferior do motor são medidos: o alinhamento do virabrequim com o auxílio de um entre-pontas e relógio comparador milesimal, a folga entre a biela e o virabrequim com o calibrador de lâminas como mostra a Figura A10, e a largura entre os dois contrapesos do virabrequim com o paquímetro como mostra a Figura 11. Caso alguma medida esteja fora de especificação, é necessário ajustá-las conforme o manual de serviço do modelo.

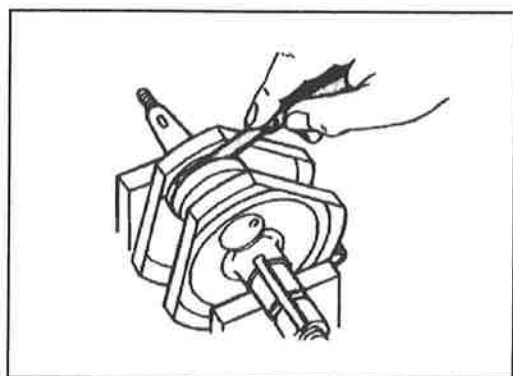


Figura A10: Folga entre a biela e o virabrequim (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

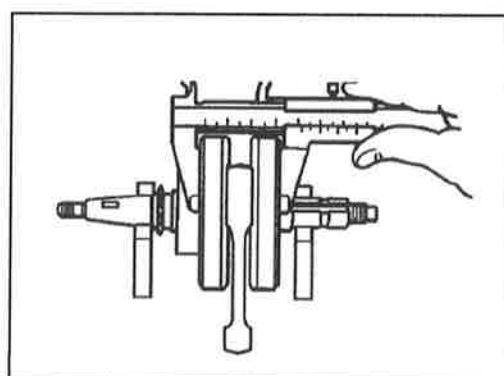


Figura A11: Distância entre os contrapesos (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

A folga da bomba de óleo trocoidal é medida com o calibrador de lâminas em três pontos como mostra a Figura A12: folga (A) entre o rotor interno (1) com o externo

(2), folga (B) do rotor externo (2) com a sede da bomba (3) e folga (C) dos rotores (1) e (2) com a sede da bomba de óleo (3).

A bóia de combustível da Figura A13 é pesada para que, no final do ensaio de durabilidade, seja verificado o efeito do combustível utilizado na sua massa final.

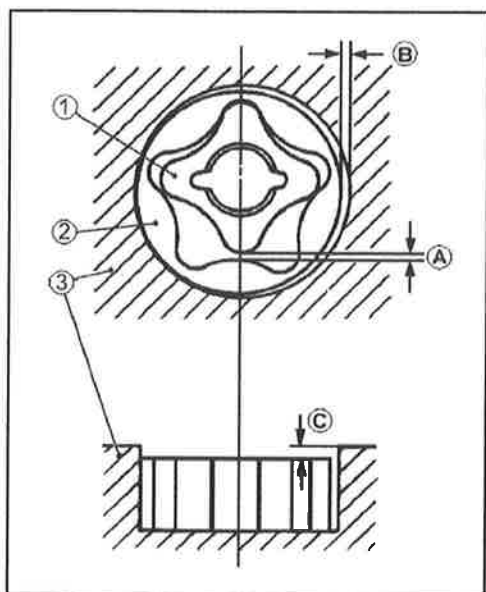


Figura A12: Folga da bomba trocoidal (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

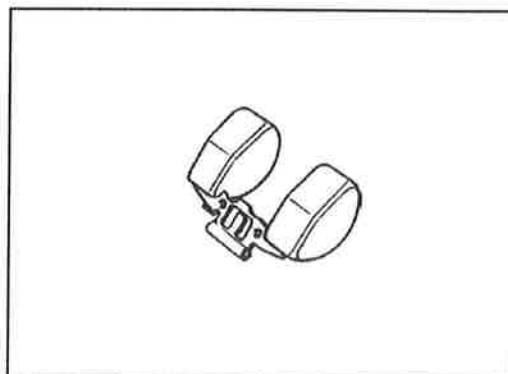


Figura A13: Ajuste da bóia do carburador (PUBLICAÇÃO YAMAHA, 2000).

7.2 APÊNDICE B – Medições físicas dos motores

Tabela B1: Comprimento livre da mola (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	38,231	38,278	37,235	37,137	0,996	1,141
C9	38,156	38,232	37,436	37,421	0,720	0,811
E40	38,298	38,207	37,541	37,405	0,757	0,802

Tabela B2: Diâmetro interno do guia da válvula (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	5,003	5,003	5,003	5,004	0,000	0,001
C9	5,004	5,003	5,006	5,007	0,002	0,004
E40	5,004	5,003	5,004	5,006	0,000	0,003

Tabela B3: Diâmetro da haste das válvulas (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	4,984	4,972	4,976	4,962	0,008	0,010
C9	4,983	4,968	4,979	4,963	0,004	0,005
E40	4,982	4,970	4,977	4,964	0,005	0,006

Tabela B4: Folga entre a haste da válvula com o diâmetro interno do guia da válvula (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,019	0,031	0,027	0,042	0,008	0,011
C9	0,021	0,035	0,027	0,044	0,006	0,009
E40	0,022	0,033	0,027	0,042	0,005	0,009

Tabela B5: Came do eixo comando - parte com o ressalto (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	25,894	25,897	25,881	25,874	0,013	0,023
C9	25,886	25,869	25,854	25,862	0,032	0,007
E40	25,902	25,876	25,893	25,769	0,009	0,107

Tabela B6: Came do eixo comando - parte sem o ressalto (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	21,259	21,076	21,252	21,067	0,007	0,009
C9	21,246	21,088	21,242	21,056	0,004	0,032
E40	21,250	21,090	21,241	21,058	0,009	0,032

Tabela B7: Diâmetro interno do balancim (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	10,011	10,015	10,012	10,018	0,001	0,003
C9	10,013	10,010	10,014	10,013	0,001	0,003
E40	10,010	10,015	10,011	10,017	0,001	0,002

Tabela B8: Diâmetro externo do pino do balancim (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	9,988	9,984	9,983	9,978	0,005	0,006
C9	9,989	9,988	9,985	9,983	0,004	0,005
E40	9,988	9,988	9,983	9,981	0,005	0,007

Tabela B9: Folga entre o pino e o balancim (mm).

Motor	Valor Inicial		Valor Final		Desgaste	
	Admissão	Escape	Admissão	Escape	Admissão	Escape
E25	0,023	0,031	0,029	0,040	0,006	0,009
C9	0,024	0,022	0,029	0,030	0,005	0,008
E40	0,022	0,027	0,028	0,036	0,006	0,009

Tabela B10: Diâmetro do pino do pistão (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final	Desgaste
E25	14,995	14,995	0,000
C9	14,993	14,991	0,002
E40	14,994	14,992	0,002

Tabela B11: Diâmetro interno do alojamento do pino do pistão (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final	Desgaste
E25	15,005	15,010	0,005
C9	15,005	15,009	0,004
E40	15,005	15,007	0,002

Tabela B12: Folga entre o pistão e o pino do pistão (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final	Desgaste
E25	0,010	0,015	0,005
C9	0,012	0,018	0,006
E40	0,011	0,015	0,004

Tabela B13: Alinhamento do virabrequim (mm).

Motor	Valor inicial		Valor final	
	Lado balanceador	Lado comando	Lado balanceador	Lado comando
E25	0,020	0,030	0,068	0,005
C9	0,029	0,027	0,059	0,002
E40	0,016	0,018	0,009	0,039

Tabela B14: Folga lateral da biela com o virabrequim (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final
E25	0,150	0,200
C9	0,350	0,400
E40	0,300	0,250

Tabela B15: Largura do virabrequim (mm).

Motor	Valor inicial	Valor final
E25	46,960	46,990
C9	46,990	47,150
E40	46,970	47,020

7.3 APÊNDICE C – Tabelas do amaciamento e da durabilidade dos motores.

Tabela C-1: Amaciamento do motor 1 utilizando o combustível E25.

Item	Data	Início	Término	Período (horas)	RPM	Marcha	Condição	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Temperatura (°C)	Umidade	Nível óleo (OK / NG)	Vazamento (OK / NG)	Check visual (parafusos e porcas)
1	07/08/07	11:00	12:00	1,00	0	Neutro	sem acelerar	68	109	25,5	55%	Ok	Ok	Ok
2	07/08/07	14:00	14:30	0,50	4.000	5 ^a	1/2 acelerador aberto	126	232	26,0	49%	Ok	Ok	Ok
3	07/08/07	14:30	15:00	0,50	4.500	5 ^a	1/2 acelerador aberto	126	230	26,3	42%	Ok	Ok	Ok
4	09/08/07	08:50	09:20	0,50	5.000	5 ^a	1/2 acelerador aberto	128	234	18,9	73%	Ok	Ok	Ok
5	09/08/07	09:20	09:50	0,50	5.500	5 ^a	1/2 acelerador aberto	125	250	19,3	72%	Ok	Ok	Ok
6	09/08/07	09:50	10:20	0,50	6.000	5 ^a	1/2 acelerador aberto	128	238	20,0	68%	Ok	Ok	Ok
7	09/08/07	10:20	10:50	0,50	4.000	5 ^a	Acelerador aberto	126	224	20,0	68%	Ok	Ok	Ok
8	09/08/07	10:50	11:20	0,50	4.500	5 ^a	Acelerador aberto	129	243	21,1	66%	Ok	Ok	Ok
9	09/08/07	11:20	11:50	0,50	5.000	5 ^a	Acelerador aberto	130	252	22,6	63%	Ok	Ok	Ok
10	09/08/07	13:30	14:00	0,50	5.500	5 ^a	Acelerador aberto	127	239	24,3	56%	Ok	Ok	Ok
11	09/08/07	14:00	14:30	0,50	6.000	5 ^a	Acelerador aberto	126	249	25,9	50%	Ok	Ok	Ok
12	09/08/07	14:30	15:00	0,50	6.500	5 ^a	Acelerador aberto	126	246	27,2	36%	Ok	Ok	Ok
13	09/08/07	15:00	15:30	0,50	7.000	5 ^a	Acelerador aberto	126	245	27,6	33%	Ok	Ok	Ok
14	09/08/07	15:30	16:00	0,50	7.500	5 ^a	Acelerador aberto	129	231	27,7	34%	Ok	Ok	Ok
15	09/08/07	16:00	16:30	0,50	8.000	5 ^a	Acelerador aberto	130	250	27,5	36%	Ok	Ok	Ok

Tabela C2: Amaciamento do motor 2 utilizando o combustível E25.

Item	Data	Início	Término	Período (horas)	RPM	Marcha	Condição	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Temperatura (°C)	Umidade	Nível óleo (OK / NG)	Vazamento (OK / NG)	Check visual (parafusos e porcas)
1	20/08/07	16:15	17:45	1,00	0	Neutro	sem acelerar	65	106	25,3	51%	Ok	Ok	Ok
2	21/08/07	13:00	13:30	0,50	4.000	5ª	1/2 a acelerador aberto	107	196	22,0	56%	Ok	Ok	Ok
3	21/08/07	13:30	14:00	0,50	4.500	5ª	1/2 a acelerador aberto	127	219	22,8	56%	Ok	Ok	Ok
4	21/08/07	14:00	14:30	0,50	5.000	5ª	1/2 a acelerador aberto	104	206	23,3	55%	Ok	Ok	Ok
5	21/08/07	14:30	15:00	0,50	5.500	5ª	1/2 a acelerador aberto	109	216	23,3	54%	Ok	Ok	Ok
6	21/08/07	15:00	15:30	0,50	6.000	5ª	1/2 a acelerador aberto	111	217	23,3	53%	Ok	Ok	Ok
7	21/08/07	09:00	09:30	0,50	4.000	5ª	Acelerador aberto	97	162	19,3	64%	Ok	Ok	Ok
8	21/08/07	09:30	10:00	0,50	4.500	5ª	Acelerador aberto	115	208	19,7	63%	Ok	Ok	Ok
9	21/08/07	10:00	10:30	0,50	5.000	5ª	Acelerador aberto	130	223	20,1	60%	Ok	Ok	Ok
10	21/08/07	10:30	11:00	0,50	5.500	5ª	Acelerador aberto	107	207	20,8	59%	Ok	Ok	Ok
11	21/08/07	11:00	11:30	0,50	6.000	5ª	Acelerador aberto	110	220	21,3	57%	Ok	Ok	Ok
12	21/08/07	15:30	16:00	0,50	6.500	5ª	Acelerador aberto	119	227	22,9	55%	Ok	Ok	Ok
13	21/08/07	16:00	16:30	0,50	7.000	5ª	Acelerador aberto	121	234	22,5	55%	Ok	Ok	Ok
14	21/08/07	16:30	17:00	0,50	7.500	5ª	Acelerador aberto	121	236	21,9	55%	Ok	Ok	Ok
15	21/08/07	17:00	17:30	0,50	8.000	5ª	Acelerador aberto	122	241	21,7	55%	Ok	Ok	Ok

Tabela C3: Amaciamento do motor 3 utilizando o combustível E25.

Item	Data	Início	Término	Período (horas)	RPM	Marcha	Condição	Óleo (°C) 120~130	Vela (°C) 240~250	Temperatura (°C)	Umidade	Nível óleo (OK / NG)	Vazamento (OK / NG)	Check visual (parafusos e porcas)
1	13/08/07	10:30	11:00	1,00	0	Neutro	sem acelerar	65	105	20,5	64%	OK	OK	OK
2	13/08/07	11:10	11:40	0,50	4.000	5 ^a	1/2a acelerador aberto	117	213	21,1	64%	OK	OK	OK
3	13/08/07	11:40	12:10	0,50	4.500	5 ^a	1/2a acelerador aberto	131	221	22,6	62%	OK	OK	OK
4	13/08/07	13:10	13:40	0,50	5.000	5 ^a	1/2a acelerador aberto	101	208	23,6	59%	OK	OK	OK
5	13/08/07	13:40	14:10	0,50	5.500	5 ^a	1/2a acelerador aberto	116	222	25,1	52%	OK	OK	OK
6	13/08/07	14:10	14:40	0,50	6.000	5 ^a	1/2a acelerador aberto	130	230	25,8	48%	OK	OK	OK
7	13/08/07	14:40	15:10	0,50	4.000	5 ^a	Acelerador aberto	98	190	26,0	45%	OK	OK	OK
8	13/08/07	15:10	15:40	0,50	4.500	5 ^a	Acelerador aberto	104	203	26,1	42%	OK	OK	OK
9	13/08/07	15:40	16:10	0,50	5.000	5 ^a	Acelerador aberto	108	210	26,2	40%	OK	OK	OK
10	13/08/07	16:10	16:40	0,50	5.500	5 ^a	Acelerador aberto	116	217	26,2	40%	OK	OK	OK
11	13/08/07	16:40	17:10	0,50	6.000	5 ^a	Acelerador aberto	128	235	26,0	40%	OK	OK	OK
12	13/08/07	17:10	17:40	0,50	6.500	5 ^a	Acelerador aberto	130	240	25,8	41%	OK	OK	OK
13	14/08/07	08:55	09:25	0,50	7.000	5 ^a	Acelerador aberto	129	221	20,8	66%	OK	OK	OK
14	14/08/07	09:25	09:55	0,50	7.500	5 ^a	Acelerador aberto	128	241	22,1	63%	OK	OK	OK
15	14/08/07	09:55	10:25	0,50	8.000	5 ^a	Acelerador aberto	130	243	23,3	60%	OK	OK	OK

Tabela C4: Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (1º ciclo).

Duração (horas acumuladas)	Data	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E25	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kWh	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	P adm (kPa)	Lambda
0,17	13/05/08	13:35	14:45	Ok	1420	neutro	0	0	0,17	0,00	59,5	125,3	20,9	20,3	61,0%	92,98	92,98	1,015
1,5	13/05/08	15:05	16:35	Ok	6500	2a	19,43	38,74	2,57	338,95	112,8	214,1	25,7	22,9	57,1%	92,78	89,18	0,815
1	13/05/08	16:35	17:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,60	341,33	117,2	213,6	25,1	22,7	57,7%	92,82	88,82	0,817
2	13/05/08	17:35	18:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,57	338,74	116,2	212,9	24,6	22,4	58,2%	92,85	88,85	0,814
3	13/05/08	18:35	19:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,51	331,99	112,8	212,7	24,3	22,3	58,9%	92,92	89,52	0,819
4	13/05/08	19:35	20:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,49	333,47	121,4	217,1	24,5	22,3	58,6%	92,97	88,77	0,829
5	16/05/08	08:10	10:10	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,51	340,42	125,4	220,7	24,8	21,9	63,1%	92,88	89,48	0,815
6	16/05/08	10:10	11:10	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,59	353,81	121,7	221,6	26,6	23,2	60,6%	92,82	89,62	0,821
1	16/05/08	11:10	12:10	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,44	333,79	125,4	220,6	28,6	24,5	56,3%	92,72	88,72	0,825
2	16/05/08	12:10	13:10	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,46	337,15	122,6	221,1	29,4	25,3	53,2%	92,65	88,65	0,823
3	16/05/08	13:10	14:10	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,38	329,81	122,9	217,8	29,5	25,6	50,2%	92,54	89,14	0,765
4	16/05/08	14:10	15:10	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,44	338,75	118,1	216,5	29,2	25,4	50,5%	92,51	88,51	0,778
5	16/05/08	15:10	16:10	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,50	345,79	125,9	218,4	28,5	25,3	49,5%	92,55	88,55	0,789
1	16/05/08	16:10	17:10	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,59	422,78	124,5	226,7	28,1	24,8	46,6%	92,59	88,39	0,738
2	19/05/08	08:45	09:45	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,57	419,64	123,8	217,4	28,5	23,5	66,0%	92,80	88,80	0,735
3	19/05/08	09:45	10:45	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,55	417,95	123,3	225,6	31,6	25,5	56,5%	92,72	88,72	0,741
4	19/05/08	10:45	11:45	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,54	418,48	125,9	221,6	33,3	26,9	43,6%	92,64	88,24	0,751
5	19/05/08	11:45	12:45	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,59	417,40	129,3	236,8	33,6	27,6	38,6%	92,56	88,36	0,749
1	19/05/08	13:50	14:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,53	403,70	121,2	225,3	33,1	27,3	33,9%	92,46	88,46	0,769
2	19/05/08	14:50	15:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,51	403,70	123,9	237,2	33,1	27,9	33,9%	92,45	88,45	0,773
3	19/05/08	15:50	16:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,47	402,34	122,3	233,1	32,6	27,9	32,7%	92,45	88,45	0,776
4	19/05/08	16:50	17:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,47	399,71	122,5	233,3	30,3	26,7	35,3%	92,53	88,13	0,768
5	19/05/08	17:50	18:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,47	401,09	120,4	232,2	29,4	26	40,5%	92,53	88,53	0,774
6	19/05/08	18:50	19:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,45	401,26	126,6	235,1	28,5	26,6	42,4%	92,58	88,18	0,776
7	19/05/08	19:50	20:50	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,47	404,21	120,7	230,1	27,8	25,2	46,1%	92,61	88,41	0,781
1	20/05/08	08:40	09:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,36	387,41	129,4	238,9	27,8	23,8	50,4%	92,75	89,55	0,787
2	20/05/08	09:40	10:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,38	391,53	129,8	237,3	30,1	25,3	46,5%	92,72	89,52	0,797
3	20/05/08	10:40	11:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,31	384,22	127,9	236,5	31,6	26,6	42,3%	92,64	89,44	0,795
4	20/05/08	11:40	12:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,37	390,75	123,5	233,8	32,5	27,5	36,5%	92,57	89,17	0,803
5	20/05/08	12:40	13:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,36	393,47	124,2	234,6	33,6	28,3	33,4%	92,47	89,27	0,802
6	20/05/08	13:40	14:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,36	394,09	121,4	229,6	33,8	28,6	33,3%	92,46	89,06	0,792
7	20/05/08	14:40	15:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,37	398,15	128,4	236,3	33,4	28,6	31,9%	92,43	89,03	0,796
8	20/05/08	15:40	16:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,37	396,74	121,9	228,5	32,3	28,1	33,7%	92,43	89,03	0,803
9	20/05/08	16:40	17:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,33	393,43	122,4	227,5	30,4	27,3	36,3%	92,44	89,24	0,805
10	20/05/08	17:40	18:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,36	396,93	121,8	232,6	29,7	26,9	36,6%	92,45	89,05	0,792
1	20/05/08	18:40	19:40	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,71	438,88	120,1	228,6	28,8	26	39,2%	92,51	89,11	0,762
0,5	21/05/08	09:10	09:40	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,71	434,85	123,5	231,1	26,5	21,3	58,0%	92,57	88,97	0,768
0,33	21/05/08	09:40	10:00	Ok	1450	neutro	0	0	0,17	0,00	129,2	182,2	24,8	21,3	56,1%	92,79	92,79	0,953

Tabela C5: Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (2º ciclo).

Duração (horas semáforo)	Data (dd/mm)	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E25	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kWh	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-260	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	P adm (kPa)	Lâmbda
0,17	26/05/08	10:10	10:20	Ok	1430	neutro	0	0	0,17	0,00	62,2	122,5	23,3	22,3	56,1%	92,70	92,70	1,035
1,5	26/05/08	11:20	12:50	Ok	6500	2a	19,43	38,74	2,53	337,91	125,9	226,2	31,4	26,4	45,0%	92,39	88,99	0,803
1	26/05/08	12:50	13:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,57	343,58	120,5	224,9	32,1	27,5	43,4%	92,3	88,10	0,805
2	26/05/08	13:50	14:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,55	344,26	123,2	228,2	32,4	27,8	42,6%	92,28	88,08	0,798
3	26/05/08	14:50	15:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,58	347,86	127,4	227,1	32,6	28,1	40,9%	92,26	88,06	0,795
4	26/05/08	15:50	16:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,59	347,50	122,3	225,8	31,6	28	41,1%	92,31	88,51	0,787
5	26/05/08	16:50	17:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,59	348,40	122,2	224,5	30,1	27,3	41,6%	92,33	89,13	0,806
6	26/05/08	17:50	18:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,59	346,98	121,8	223,3	28,5	26,4	44,3%	92,35	88,95	0,811
1	26/05/08	18:50	19:50	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,55	341,52	119,1	220,9	27,9	26	51,1%	92,41	88,01	0,809
2	27/05/08	08:25	09:25	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,49	328,18	121,7	221,9	24,9	23	61,3%	92,64	88,24	0,816
3	27/05/08	09:25	10:25	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,55	337,29	128,2	221,4	26,1	23,8	59,0%	92,62	88,22	0,817
4	27/05/08	10:25	11:25	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,50	334,66	123,1	223,6	27,7	24,8	56,6%	92,6	88,60	0,823
5	27/05/08	11:25	12:25	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,47	330,20	121,2	222,6	29,2	25,6	53,2%	92,49	88,49	0,814
1	27/05/08	12:25	13:25	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,27	388,80	124,7	234,1	31,3	26,4	49,6%	92,41	87,01	0,785
2	27/05/08	13:25	14:25	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,32	391,95	121,8	228,7	33,1	28	39,8%	92,31	87,11	0,782
3	27/05/08	14:25	15:25	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,26	385,99	127,2	235,7	33,2	28,4	37,8%	92,27	86,47	0,786
4	27/05/08	15:25	16:25	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,31	395,27	123,2	219,8	32,1	28,1	42,7%	92,29	86,69	0,787
5	27/05/08	16:25	17:25	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,33	401,02	124,2	221,3	30,7	27,4	45,3%	92,33	86,93	0,781
1	27/05/08	17:40	18:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,30	388,88	120,3	223,5	28,6	26	47,8%	92,37	86,57	0,794
2	27/05/08	18:40	19:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,31	394,80	125,7	230,9	27,7	25,1	50,7%	92,43	87,03	0,788
3	28/05/08	08:30	09:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,29	387,46	129,2	234,8	25,2	22,5	60,2%	92,5	87,10	0,784
4	28/05/08	09:30	10:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,34	391,13	121,3	230,7	27,3	23,8	56,6%	92,47	87,07	0,782
5	28/05/08	10:30	11:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,36	398,46	124,8	224,4	30,6	25,7	51,9%	92,40	87,00	0,775
6	28/05/08	11:30	12:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,31	390,28	125,5	236,5	33,1	27,4	42,7%	92,32	86,72	0,777
7	28/05/08	12:30	13:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,38	398,94	121,3	224,1	33,9	28,1	37,4%	92,27	86,67	0,776
1	28/05/08	13:30	14:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	383,68	126,2	226,4	33,9	28,9	34,3%	92,2	86,40	0,778
2	28/05/08	14:30	15:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,23	384,48	122,3	232,8	33,6	28,4	34,8%	92,18	86,38	0,804
3	28/05/08	15:30	16:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,25	388,52	126,1	229,5	32,4	28,5	35,6%	92,19	86,19	0,801
4	28/05/08	16:30	17:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	383,68	121,2	224,3	31,3	28,1	36,4%	92,19	86,19	0,806
5	29/05/08	10:00	11:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,25	390,77	127,8	238,2	30,6	25,3	52,1%	92,95	86,75	0,805
6	29/05/08	11:00	12:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,23	386,32	120,8	223,3	29,6	25,7	51,0%	92,46	86,46	0,804
7	29/05/08	12:00	13:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	390,52	129,4	238,3	32,7	26,9	48,8%	92,35	86,35	0,803
8	29/05/08	13:00	14:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,18	385,67	127,4	235,7	30,1	26,1	51,1%	92,27	86,07	0,806
9	29/05/08	14:00	15:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,14	381,44	128,1	236,3	30	26,1	52,0%	92,29	86,09	0,807
10	29/05/08	15:00	16:00	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	388,01	115,9	227,8	27,8	25,6	55,3%	92,31	86,31	0,804
1	29/05/08	16:00	17:00	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,59	438,64	121,2	216,1	28,1	25,5	56,4%	92,31	87,91	0,772
0,5	29/05/08	17:00	17:30	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,55	435,89	123,7	220,6	28,3	25,4	56,5%	92,3	87,50	0,775
0,33	29/05/08	17:30	17:50	Ok	1450	neutro	0	0	0,15	0,00	120,6	168,9	27,2	23,8	60,1%	92,49	92,49	0,965

Tabela C6: Durabilidade do motor 1 utilizando o combustível E25 (3º ciclo).

Duração (horas acumulada)	Data (dd/mm)	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E25	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/KW.h	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	P adm (kPa)	Lambda
0,17	30/05/08	16:35	16:45	Ok	1430	neutro	0	0	0,16	0,00	62,1	113,6	21,8	21,2	59,2%	93,08	93,08	1,184
1,5	02/06/08	09:10	10:40	Ok	6500	2a	19,43	38,74	2,46	323,78	120,1	228,3	23,3	20,2	64,1%	93,15	89,75	0,828
1	02/06/08	10:40	11:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,56	336,08	121,3	224,6	23,8	20,7	62,4%	93,09	90,49	0,817
2	02/06/08	11:40	12:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,52	331,41	117,2	225,3	24,1	21,0	60,8%	93,00	89,80	0,818
3	02/06/08	12:40	13:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,53	335,83	120,1	224,9	24,8	21,5	58,9%	92,91	90,31	0,806
4	02/06/08	13:40	14:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,49	329,34	120,4	226,6	25,7	22,1	56,6%	92,82	90,22	0,792
5	02/06/08	14:40	15:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,55	337,88	120,2	228,7	26,2	22,5	54,2%	92,83	89,43	0,805
6	02/06/08	15:40	16:40	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,57	341,14	119,4	227,8	25,7	22,5	53,4%	92,84	89,44	0,813
1	02/06/08	16:40	17:40	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,53	334,05	118,5	224,7	24,5	22,3	54,9%	92,86	89,66	0,818
2	02/06/08	17:40	18:40	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,52	333,76	120,8	225,9	23,7	22,0	55,9%	92,88	89,48	0,814
3	02/06/08	18:40	19:40	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,51	333,46	123,6	226,1	23,1	21,6	56,5%	92,93	89,73	0,817
4	03/06/08	08:35	09:35	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,52	333,76	126,1	225,4	24,2	20,8	64,4%	92,88	90,08	0,813
5	03/06/08	09:35	10:35	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,55	339,37	121,5	224,2	26,2	21,9	60,8%	92,81	89,41	0,815
1	03/06/08	10:35	11:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,29	392,42	125,3	230,3	28,6	23,2	58,2%	92,66	89,06	0,776
2	03/06/08	11:35	12:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,23	391,97	122,9	231,2	30,1	24,3	56,2%	92,62	89,02	0,782
3	03/06/08	12:35	13:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,24	394,87	127,8	235,2	30,2	25,1	50,7%	92,53	88,33	0,806
4	03/06/08	13:35	14:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,27	398,12	128,9	233,9	29,8	25,0	50,2%	92,50	88,90	0,795
5	03/06/08	14:35	15:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,26	397,95	126,4	233,5	29,7	24,6	51,5%	92,46	88,88	0,793
1	03/06/08	16:15	17:15	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,30	389,49	122,2	231,8	28,7	24,7	50,8%	92,47	88,87	0,796
2	03/06/08	17:15	18:15	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,29	394,94	127,5	236,0	27,9	24,5	51,0%	92,46	88,26	0,783
3	03/06/08	18:15	19:15	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,28	392,71	127,3	232,7	26,5	23,9	54,2%	92,45	88,65	0,781
4	04/06/08	08:55	09:55	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,27	392,54	126,2	230,1	25,3	22,1	64,7%	92,72	88,52	0,784
5	04/06/08	09:55	10:55	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,29	397,48	128,4	232,9	26,8	22,7	65,3%	92,68	88,68	0,782
6	04/06/08	10:55	11:55	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,31	399,90	120,7	227,8	27,1	23,3	63,3%	92,63	88,63	0,778
7	04/06/08	11:55	12:55	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,29	399,42	125,7	230,2	29,1	24,2	61,3%	92,56	88,56	0,774
1	04/06/08	12:55	13:55	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,17	386,74	124,3	232,2	29,3	24,8	57,7%	92,50	88,30	0,805
2	04/06/08	13:55	14:55	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,08	380,95	129,3	235,0	29,9	25,2	57,4%	92,42	88,22	0,803
3	04/06/08	14:55	15:55	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,03	373,74	123,3	230,2	29,3	25,3	57,1%	92,45	88,25	0,804
4	04/06/08	15:55	16:55	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,12	386,54	129,2	234,8	29,1	25,2	57,4%	92,46	88,06	0,800
5	04/06/08	16:55	17:55	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,14	386,46	126,8	233,1	28,2	24,7	57,8%	92,50	88,50	0,803
6	05/06/08	08:50	09:50	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,17	380,36	126,4	234,1	25,2	21,8	66,2%	92,90	88,50	0,808
7	05/06/08	09:50	10:50	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,11	377,59	128,1	234,7	26,5	22,6	64,4%	92,87	88,47	0,815
8	05/06/08	10:50	11:50	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	393,71	125,3	231,2	28,7	23,8	62,2%	92,84	88,44	0,811
9	05/06/08	11:50	12:50	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,15	388,10	129,2	235,3	30,5	24,9	60,6%	92,76	88,76	0,801
10	05/06/08	12:50	13:50	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,13	390,13	127,9	235,2	31,6	25,8	58,9%	92,68	88,48	0,807
1,5	05/06/08	13:50	15:20	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,46	431,52	123,7	227,8	32,0	26,4	54,7%	92,62	88,62	0,779
0,33	05/06/08	15:20	15:40	Ok	1450	neutro	0	0	0,13	0,00	105,1	155,5	28,5	25,1	54,5%	92,80	92,80	1,075

Tabela C7: Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (1º ciclo).

Duração (horas aerométrica)	Data dd/mm	Início (hora)	Término (hora)	Comb. C9	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kWh	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	P adm (kPa)	Lâmbda
0,17	09/06/08	11:25	11:35	Ok	1390	neutro	0	0	0,15	0,00	60,2	123,4	24,2	22,7	54,7%	92,55	92,6	0,964
1,5	09/06/08	13:05	14:35	Ok	6500	2a	19,43	38,74	2,75	380,47	126,4	214,3	32,1	26,5	42,6%	92,26	89,9	0,746
1	09/06/08	14:35	15:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,79	381,87	121,6	211,2	30,9	26,4	40,5%	92,26	90,1	0,751
2	09/06/08	15:35	16:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,81	385,99	122,2	211,4	29,2	26,0	42,5%	92,27	90,1	0,762
3	09/06/08	16:35	17:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,75	380,70	120,6	211,4	29,2	25,5	45,0%	92,29	90,1	0,758
4	09/06/08	17:35	18:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,86	395,45	123,7	213,8	28,5	25,5	46,2%	92,31	90,1	0,765
5	09/06/08	18:35	19:35	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,81	390,41	122,4	213,2	28,2	25,5	46,5%	92,35	90,0	0,759
6	10/06/08	08:30	09:30	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,84	397,70	122,7	213,4	29,0	24,7	53,7%	92,38	90,0	0,732
1	10/06/08	09:30	10:30	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,75	384,17	123,2	212,7	29,9	25,5	51,5%	92,4	90,2	0,744
2	10/06/08	10:30	11:30	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,73	378,62	124,7	213,1	30,6	26,0	49,8%	92,38	90,0	0,756
3	10/06/08	11:30	12:30	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,77	387,66	121,9	210,6	31,1	26,6	48,6%	92,29	90,1	0,758
4	10/06/08	12:30	13:30	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,81	394,48	124,8	212,9	32,1	27,5	47,6%	92,2	90,0	0,751
5	10/06/08	13:30	14:30	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,79	393,32	123,3	211,8	31,4	27,5	46,8%	92,2	90,0	0,752
1	10/06/08	14:30	15:30	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,50	434,61	121,5	216,9	31,9	27,4	47,3%	92,17	88,0	0,728
2	10/06/08	15:30	16:30	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,49	432,26	123,5	216,1	31,1	27,2	48,1%	92,19	88,0	0,723
3	10/06/08	16:30	17:30	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,57	446,50	127,8	220,5	29,8	26,7	49,7%	92,23	87,8	0,733
4	10/06/08	17:30	18:30	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,55	446,29	125,5	221,2	29,1	26,3	51,1%	92,3	88,3	0,731
5	10/06/08	18:30	19:30	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,53	443,67	126,1	222,4	28,7	26,0	52,3%	92,34	88,3	0,736
1	11/06/08	08:40	09:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,66	443,01	129,4	224,5	24,2	22,2	59,4%	92,73	88,3	0,748
2	11/06/08	09:40	10:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,63	436,22	124,7	220,1	25,9	23,1	58,9%	92,88	88,9	0,746
3	11/06/08	10:40	11:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,55	430,10	123,9	219,1	27,2	24,0	56,7%	92,82	88,4	0,739
4	11/06/08	11:40	12:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,63	438,98	124,2	219,4	29,4	25,1	55,0%	92,7	88,3	0,734
5	11/06/08	12:40	13:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,63	443,17	126,2	220,4	31,3	26,5	52,9%	92,55	88,2	0,736
6	11/06/08	13:40	14:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,59	439,10	124,1	215,6	30,6	26,5	52,1%	92,45	88,3	0,733
7	11/06/08	14:40	15:40	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,63	441,87	121,1	214,4	30,9	26,7	52,6%	92,49	88,1	0,735
1	11/06/08	15:40	16:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,52	429,45	120,3	213,2	30,1	26,6	52,6%	92,54	87,9	0,746
2	11/06/08	16:40	17:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,49	426,88	122,6	216,7	28,9	26,1	52,5%	92,65	88,5	0,743
3	11/06/08	17:40	18:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,51	422,59	120,8	215,2	26,3	25,1	51,1%	92,74	88,5	0,741
4	11/06/08	18:40	19:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,50	420,33	122,3	221,7	25,4	24,6	52,0%	92,66	89,3	0,757
5	12/06/08	08:30	09:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,47	411,97	121,3	220,7	25,6	22,9	65,5%	92,95	89,6	0,766
6	12/06/08	09:30	10:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,46	417,48	121,8	222,6	27,8	24,1	62,9%	92,91	89,7	0,778
7	12/06/08	10:30	11:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,45	416,68	124,4	225,1	30,1	25,2	59,7%	92,86	89,5	0,780
8	12/06/08	11:30	12:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,44	415,07	127,4	226,7	31,1	25,8	58,7%	92,74	89,3	0,779
9	12/06/08	12:30	13:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,46	421,46	126,1	224,4	32,8	27,4	54,4%	92,62	89,0	0,775
10	12/06/08	13:30	14:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,44	419,02	128,2	225,3	33,1	28,1	47,9%	92,57	89,0	0,782
1	12/06/08	14:30	16:00	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,58	443,11	126,2	223,3	32,9	28,1	46,0%	92,49	88,3	0,747
0,33	12/06/08	16:00	16:20	Ok	1450	neutro	0	0	0,14	0,00	125,1	173,9	27,0	25,0	52,3%	92,65	92,7	0,939

Tabela C8: Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (2º ciclo).

Duração (horas aemulada)	Data dd/mm	Início (hora)	Término (hora)	Comb. C9	Transmissão				Consumo				Monitoramento				
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kWh	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	Lambda
0,17	16/06/08	08:26	08:36	Ok	1430	neutro	0	0	0,17	0,00	60,2	121,6	19,8	18,8	42,8%	93,28	1,021
1,5	16/06/08	09:20	10:50	Ok	6500	2a	19,43	36,74	2,73	365,43	124,4	222,8	23,0	21,0	40,4%	93,13	0,817
1	16/06/08	10:50	11:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,77	368,21	123,5	222,3	23,7	21,5	40,0%	93,13	0,809
2	16/06/08	11:50	12:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,77	367,96	126,0	221,1	23,6	21,7	39,9%	93,06	0,801
3	16/06/08	12:50	13:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,76	367,08	125,8	221,7	23,5	21,8	40,0%	92,99	0,819
4	16/06/08	13:50	14:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,75	365,56	126,1	220,6	23,2	21,7	40,2%	92,94	0,813
5	16/06/08	14:50	15:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,73	362,27	123,1	220,3	23,1	21,7	40,4%	92,89	0,816
6	16/06/08	15:50	16:50	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,71	360,24	122,6	219,9	22,7	21,6	40,7%	92,88	0,814
1	16/06/08	16:50	17:50	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,69	356,36	123,4	220,2	21,7	21,2	41,5%	92,91	0,816
2	17/06/08	08:35	09:35	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,69	356,09	123,2	220,1	20,6	18,9	55,2%	92,97	0,808
3	17/06/08	09:35	10:35	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,71	359,62	124,2	219,6	22,0	19,8	53,9%	92,95	0,809
4	17/06/08	10:35	11:35	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,73	362,01	123,8	219,7	22,6	20,3	52,1%	92,86	0,797
5	17/06/08	11:35	12:35	Ok	6500	4a	11,43	65,85	2,69	360,71	125,6	220,8	24,9	21,4	51,6%	92,73	0,794
1	17/06/08	12:35	13:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,42	408,80	127,7	225,7	26,8	22,7	49,6%	92,70	0,776
2	17/06/08	13:35	14:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,47	415,68	126,4	223,3	27,2	23,2	48,7%	92,64	0,766
3	17/06/08	14:35	15:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,46	416,18	124,3	223,1	27,1	23,4	47,8%	92,63	0,771
4	17/06/08	15:35	16:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,41	410,56	122,1	223,4	26,8	23,3	47,6%	92,62	0,773
5	17/06/08	16:35	17:35	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,39	407,52	121,7	222,6	25,2	23,0	48,5%	92,66	0,768
1	18/06/08	08:20	09:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,36	399,76	125,1	224,1	23,3	20,5	60,7%	92,85	0,772
2	18/06/08	09:20	10:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,37	403,85	124,0	223,9	23,8	21,0	59,3%	92,84	0,776
3	18/06/08	10:20	11:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,35	403,98	126,4	224	25,6	21,8	58,3%	92,77	0,773
4	18/06/08	11:20	12:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,36	409,93	126,9	225,7	27,3	23,1	55,9%	92,66	0,776
5	18/06/08	12:20	13:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,37	413,53	126,2	224,9	29,5	24,4	47,2%	92,51	0,769
6	18/06/08	13:20	14:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,39	415,16	129,2	223,8	30,0	25,1	42,8%	92,45	0,771
7	18/06/08	14:20	15:20	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,39	417,98	123,9	224,3	30,4	25,5	39,3%	92,42	0,774
1	18/06/08	15:20	16:20	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,27	400,63	124,6	224,4	28,7	25,2	40,3%	92,43	0,766
2	18/06/08	16:20	17:20	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,29	405,02	122,9	221,7	27,9	24,9	42,3%	92,50	0,781
3	18/06/08	17:20	18:20	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,31	408,13	123,6	221,9	27,0	24,5	43,0%	92,51	0,788
4	18/06/08	18:20	19:20	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,30	406,49	127,3	228,8	25,9	23,8	44,9%	92,39	0,766
5	19/06/08	08:35	09:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,29	403,72	126,4	225,4	23,1	20,3	64,1%	92,68	0,769
6	19/06/08	09:35	10:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,29	402,91	122,4	223,6	24,0	20,8	63,9%	92,64	0,768
7	19/06/08	10:35	11:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,28	402,09	124,1	222,3	26,2	22,3	60,8%	92,69	0,769
8	19/06/08	11:35	12:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,27	407,12	124,4	224,1	28,1	23,6	57,8%	92,60	0,793
9	19/06/08	12:35	13:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,29	406,80	126,1	224,4	28,2	24,3	56,0%	92,51	0,786
10	19/06/08	13:35	14:35	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,31	411,94	126,9	223,2	29,4	25,0	54,7%	92,44	0,783
1,5	19/06/08	14:35	16:05	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,43	437,66	125,8	223,4	29,4	25,2	54,2%	92,37	0,764
0,33	19/06/08	16:05	16:25	Ok	1810	neutro	0	0	0,19	0,00	131,7	178,4	24,8	22,4	59,6%	92,49	0,826

Tabela C9: Durabilidade do motor 2 utilizando o combustível C-9 (3º ciclo).

Duração (horas acumulada)	Data (dd/mm)	Início (hora)	Término (hora)	Comb. C9	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/KW.h	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	Lâmbda	
0,17	20/06/08	15:30	15:40	Ok	1570	neutro	0	0	0,21	0,00	65,2	131,3	24,2	23,1	53,6%	92,31	92,31	0,972
1,5	23/06/08	08:50	10:20	Ok	6500	2a	19,43	36,74	2,55	347,42	125,5	222,3	21,5	19,6	61,0%	93,12	86,72	0,803
1	23/06/08	10:20	11:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,55	343,46	121,5	220,4	21,7	19,9	60,0%	93,11	84,31	0,814
2	23/06/08	11:20	12:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,55	344,07	123,2	220,5	22,0	20,2	59,6%	93,06	84,66	0,822
3	23/06/08	12:20	13:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,54	345,60	123,2	220,2	22,2	20,3	58,7%	93,02	85,02	0,812
4	23/06/08	13:20	14:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,54	344,38	122,8	221,6	22,5	20,5	57,5%	92,98	84,58	0,821
5	23/06/08	14:20	15:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,58	349,80	125,3	222,5	22,3	20,5	56,6%	92,96	84,56	0,818
6	23/06/08	15:20	16:20	Ok	6500	3a	14,38	52,34	2,55	341,96	123,6	219,6	21,9	20,4	55,7%	92,99	84,99	0,813
1	23/06/08	16:20	17:20	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,62	353,35	125,4	225,1	21,9	20,2	55,2%	93,04	84,64	0,815
2	23/06/08	17:20	18:20	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,60	350,66	127,3	225,0	21,9	20,4	54,3%	93,11	84,71	0,811
3	23/06/08	18:20	19:20	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,61	351,22	126,9	225,2	21,8	20,3	54,5%	93,14	85,14	0,813
4	24/06/08	08:50	09:50	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,65	358,48	126,5	225,1	22,0	19,4	63,5%	93,22	85,22	0,819
5	24/06/08	09:50	10:50	Ok	6500	4a	11,43	66,85	2,64	356,68	128,2	224,6	22,3	20,0	62,0%	93,23	85,63	0,817
1	24/06/08	10:50	11:50	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,34	402,37	127,2	226,7	23,5	20,8	60,8%	93,30	82,50	0,798
2	24/06/08	11:50	12:50	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,31	402,96	123,8	223,9	23,6	21,0	59,9%	93,21	82,41	0,796
3	24/06/08	12:50	13:50	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,29	399,89	124,7	223,9	23,7	21,1	59,2%	93,21	82,41	0,790
4	24/06/08	13:50	14:50	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,30	401,97	124,7	222,9	24,4	21,3	59,3%	93,19	83,19	0,78
5	24/06/08	14:50	15:50	Ok	8500	4a	11,43	86,12	3,29	400,98	124,2	223,7	24,5	21,5	58,2%	93,08	83,08	0,792
1	25/06/08	08:30	09:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,37	408,15	129,3	224,1	22,8	19,9	63,2%	93,28	82,88	0,783
2	25/06/08	09:30	10:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,39	414,50	124,7	225,6	23,9	21,0	60,2%	93,27	82,87	0,785
3	25/06/08	10:30	11:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,39	415,32	127,8	225,4	24,4	21,3	58,9%	93,25	82,85	0,782
4	25/06/08	11:30	12:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,34	408,79	129,3	226,6	25,7	22,0	56,7%	93,16	82,76	0,783
5	25/06/08	12:30	13:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,33	407,97	122,6	224,8	25,4	22,1	55,7%	93,07	82,67	0,787
6	25/06/08	13:30	14:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,38	415,01	124,2	225,7	25,7	22,3	55,1%	93,04	82,64	0,792
7	25/06/08	14:30	15:30	Ok	8500	5a	9,56	102,96	3,33	409,77	124,7	225,3	25,6	22,4	54,2%	93,05	83,05	0,781
1	25/06/08	15:30	16:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,21	396,26	121,8	223,8	24,8	22,3	54,6%	93,08	82,28	0,801
2	25/06/08	16:30	17:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,23	398,28	125,3	224,7	24,3	22,0	55,2%	93,13	82,73	0,804
3	25/06/08	17:30	18:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,25	399,28	124,5	229,1	23,1	21,2	55,9%	92,99	82,19	0,807
4	25/06/08	18:30	19:30	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,21	396,26	126,7	229,6	23,4	21,3	56,3%	93,00	82,60	0,797
5	26/06/08	08:40	09:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,26	400,28	127,4	229,1	22,5	19,6	63,1%	93,08	82,68	0,808
6	26/06/08	09:40	10:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,23	396,18	124,8	226,5	25,6	21,6	57,9%	93,23	82,83	0,812
7	26/06/08	10:40	11:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	397,91	126,3	228,3	27,7	23,1	53,1%	93,14	83,14	0,810
8	26/06/08	11:40	12:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,25	402,50	127,5	229,1	28,5	23,8	49,0%	93,07	82,67	0,812
9	26/06/08	12:40	13:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,23	401,50	122,8	225,4	28,8	24,2	47,4%	92,91	82,11	0,808
10	26/06/08	13:40	14:40	Ok	8107	5a	9,56	98,20	3,22	399,84	124,9	225,5	28,9	24,4	46,2%	92,86	82,46	0,807
1,5	26/06/08	14:40	16:10	Ok	9350	5a	9,56	113,26	3,45	438,03	127,2	223,8	28,1	24,4	43,3%	92,82	86,82	0,763
0,33	26/06/08	16:10	16:30	Ok	1830	neutro	0	0	0,17	0,00	132,5	180,6	24,0	21,6	47,4%	92,95	92,95	0,907

Tabela C10: Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (1º ciclo).

Duração (horas acumulada)	Data dd/mm	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E40	Transmissão				Consumo				Monitoramento				
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kWh	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Unidade (%)	P amb (kPa)	Lambda
0,17	04/07/08	10:30	10:40	Ok	1010	neutro	0	0	0,17	0,00	60,7	112,5	19,8	19,5	61,3%	93,14	1,353
1,5	04/07/08	12:10	13:40	Ok	6500	2a	19,43	38,14	2,57	351,83	126,4	225,9	28,0	24,1	47,5%	92,73	0,906
1	04/07/08	13:40	14:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,55	349,72	126,9	222,7	27,9	24,4	45,7%	92,65	0,941
2	04/07/08	14:40	15:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,57	355,31	125,9	223,5	28,0	24,5	44,4%	92,6	0,935
3	04/07/08	15:40	16:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,52	348,85	125,8	222,4	27,2	24,2	43,2%	92,6	0,939
4	04/07/08	16:40	17:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,51	348,00	120,8	221,5	25,0	23,4	49,0%	92,66	0,934
5	04/07/08	17:40	18:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,49	345,22	123,9	224,9	24,8	23,3	49,9%	92,73	0,926
6	04/07/08	18:40	19:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,47	343,07	124,0	222,2	23,6	22,8	51,0%	92,76	0,925
1	07/07/08	08:25	09:25	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,51	344,22	125,2	227,4	21,0	19,2	62,9%	93,24	0,939
2	07/07/08	09:25	10:25	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,49	343,01	123,5	223,8	21,6	19,8	62,2%	93,24	0,966
3	07/07/08	10:25	11:25	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,52	349,21	125,3	223,2	23,5	20,8	60,2%	93,16	0,933
4	07/07/08	11:25	12:25	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,54	353,92	123,9	224,4	25,5	22,0	57,8%	93,10	0,925
5	07/07/08	12:25	13:25	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,53	352,06	125,6	225,1	27,4	23,3	53,1%	92,99	0,927
1	07/07/08	13:25	14:25	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,23	396,67	121,8	231,5	29,5	24,4	47,6%	92,94	0,862
2	07/07/08	14:25	15:25	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,18	388,87	124,1	231,6	29,5	24,9	38,3%	92,90	0,883
3	07/07/08	15:25	16:25	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,19	391,13	123,8	232,4	28,7	24,7	35,6%	92,90	0,881
4	07/07/08	16:25	17:25	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,21	391,50	121,6	231,5	27,2	24,0	36,8%	92,91	0,887
5	07/07/08	17:25	18:25	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,17	386,00	123,3	233,4	26,0	23,5	36,9%	92,95	0,885
1	08/07/08	08:20	09:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,27	389,62	121,2	233,9	21,0	19,1	58,2%	93,15	0,881
2	08/07/08	09:20	10:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,29	393,85	127,8	237,6	23,5	20,3	56,4%	93,14	0,889
3	08/07/08	10:20	11:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,29	396,17	128,2	234,5	25,7	21,8	53,8%	93,06	0,885
4	08/07/08	11:20	12:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,27	394,57	122,1	235,1	26,9	22,5	53,2%	92,97	0,884
5	08/07/08	12:20	13:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,30	399,66	122,8	237,1	29,0	24,1	49,6%	92,83	0,886
6	08/07/08	13:20	14:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,29	399,98	125,0	236,8	29,6	24,9	45,9%	92,76	0,880
7	08/07/08	14:20	15:20	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,30	402,25	127,1	236	30,0	25,5	39,6%	92,73	0,878
1	08/07/08	15:20	16:20	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	396,60	124,2	229,1	29,3	25,1	41,9%	92,71	0,918
2	08/07/08	16:20	17:20	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,22	395,04	123,0	228,1	27,8	24,8	41,3%	92,77	0,925
3	10/07/08	08:40	09:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	391,69	128,6	231,4	24,9	21,1	58,8%	93,49	0,919
4	10/07/08	09:40	10:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,23	393,94	124,4	229,5	26,6	22,2	55,2%	93,47	0,915
5	10/07/08	10:40	11:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,26	398,01	121,4	228,1	28,0	23,3	51,4%	93,43	0,911
6	10/07/08	11:40	12:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,20	391,32	120,5	227,7	28,9	24,2	46,6%	93,32	0,918
7	10/07/08	12:40	13:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,23	395,39	126,4	230,8	28,2	24,4	44,0%	93,24	0,909
8	10/07/08	13:40	14:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	391,69	122,3	229,4	29,5	25,1	38,7%	93,20	0,902
9	10/07/08	14:40	15:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,23	392,68	124,0	230,3	29,0	25,1	37,7%	93,21	0,906
10	10/07/08	15:40	16:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	391,06	121,3	229,6	28,3	24,8	38,2%	93,22	0,911
1,5	10/07/08	16:40	18:10	Ok	9350	5a	9,56	111,50	3,57	438,27	123,7	229,4	25,4	23,6	49,2%	93,26	0,854
0,33	10/07/08	18:10	18:30	Ok	1310	neutro	0	0	0,16	0,00	121,3	162,3	23,1	21,1	54,0%	93,47	1,135

Tabela C11: Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (2º ciclo).

Duração (horas acumulada)	Data (dd/mm)	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E-40	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/AW.h	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-260	Ar (°C)	Admissão (°C)	Ambiente (°C)	Unidade (%)	P amb (kPa)	Lâmbda
0,17	11/07/08	16:50	17:00	Ok	1020	neutro	0	0	0,15	0,00	74,3	114,6	21,2	20,3	57,3%	93,52	93,52	1,749
1,5	14/07/08	09:10	10:40	Ok	6500	2a	19,43	38,14	2,59	357,42	127,5	228,1	22,7	19,9	59,3%	93,22	93,22	0,951
1	14/07/08	10:40	11:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,59	355,85	123,4	225,8	25,3	21,4	56,3%	93,14	88,74	0,937
2	14/07/08	11:40	12:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,55	350,99	124,2	224,3	26,9	22,7	50,6%	93,07	89,07	0,942
3	14/07/08	12:40	13:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,56	352,82	125,5	223,2	26,8	23,1	44,6%	92,96	88,96	0,939
4	14/07/08	13:40	14:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,57	354,66	121,7	222,1	29,8	25,1	37,4%	93,07	88,87	0,931
5	14/07/08	14:40	15:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,57	356,33	127,5	226,4	29,0	24,9	36,0%	92,88	88,88	0,911
6	14/07/08	15:40	16:40	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,59	357,42	125,4	225,1	28,2	24,6	37,1%	92,88	88,69	0,924
1	14/07/08	16:40	17:40	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,57	355,03	121,2	223,9	26,4	24,0	40,9%	92,96	89,56	0,934
2	15/07/08	08:40	09:40	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,55	351,63	126,4	227,3	22,5	19,9	55,8%	93,38	89,99	0,931
3	15/07/08	08:40	10:40	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,53	351,06	123,5	227,1	24,1	21,0	53,3%	93,38	88,99	0,942
4	15/07/08	10:40	11:40	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,57	355,68	124,0	224,6	26,4	21,8	46,4%	93,31	89,11	0,944
5	15/07/08	11:40	12:40	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,59	359,76	122,6	225,8	27,4	23,4	41,7%	93,35	88,95	0,941
1	15/07/08	12:40	13:40	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,25	401,07	128,8	234,1	29,5	24,5	38,2%	93,21	87,41	0,896
2	15/07/08	13:40	14:40	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,27	404,85	128,6	233,0	30,3	25,4	34,2%	93,13	87,33	0,891
3	15/07/08	14:40	15:40	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,27	400,76	127,7	232,2	29,2	25,1	30,2%	93,08	87,48	0,887
4	15/07/08	15:40	16:40	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,26	402,54	121,1	228,2	28,5	24,6	33,9%	93,08	87,48	0,913
5	15/07/08	16:40	17:40	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,29	406,66	126,5	231,7	27,4	24,5	33,4%	93,18	87,78	0,923
1	16/07/08	08:30	09:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,32	405,34	129,9	234,2	21,2	19,5	55,8%	93,44	87,64	0,906
2	16/07/08	09:30	10:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,30	404,20	124,5	231,3	22,6	20,2	54,2%	93,41	87,81	0,912
3	16/07/08	10:30	11:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,31	407,80	128,5	234,7	24,9	21,4	50,6%	93,35	87,55	0,916
4	16/07/08	11:30	12:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,29	405,34	126,3	233,1	25,1	21,8	50,2%	93,32	87,52	0,913
5	16/07/08	14:30	15:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,27	401,58	129,5	234,7	30,1	25,0	34,6%	92,94	87,14	0,902
6	16/07/08	15:30	16:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,29	407,83	121,5	231,7	28,7	24,8	36,5%	92,90	87,10	0,884
7	16/07/08	16:30	17:30	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,30	408,81	124,4	233,9	27,8	24,5	38,2%	92,95	87,15	0,891
1	16/07/08	17:30	18:30	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,25	405,51	120,5	230,5	26,3	23,7	37,9%	92,99	87,39	0,916
2	16/07/08	18:30	19:30	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	398,55	122,5	229,6	25,1	23,0	41,6%	93,02	87,42	0,923
3	17/07/08	07:55	08:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,22	399,55	128,1	231,0	23,2	20,0	49,7%	92,97	87,57	0,921
4	17/07/08	08:55	09:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,18	395,24	129,6	232,4	26,5	21,9	44,1%	92,97	87,57	0,909
5	17/07/08	09:55	10:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	397,90	124,6	229,4	28,8	23,4	40,7%	92,88	87,48	0,885
6	17/07/08	10:55	11:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,23	401,89	124,1	230,0	30,4	24,9	35,1%	92,78	87,18	0,880
7	17/07/08	11:55	12:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,24	406,02	127,0	230,2	31,1	25,4	33,7%	92,70	86,90	0,887
8	17/07/08	12:55	13:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,19	399,99	129,4	230,9	31,4	26,1	33,5%	92,59	86,79	0,885
9	17/07/08	13:55	14:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,21	404,01	126,2	228,3	31,5	26,4	30,9%	92,49	86,69	0,893
10	17/07/08	14:55	15:55	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,19	404,84	122,5	226,7	31,0	26,5	31,4%	92,46	86,86	0,895
1,5	17/07/08	15:55	17:25	Ok	9350	5a	9,56	111,50	3,43	441,16	125,4	232,8	30,1	26,2	31,6%	92,46	87,06	0,863
0,39	17/07/08	17:25	17:45	Ok	1230	neutro	0	0	0,11	0,00	119,4	167,2	26,2	23,1	35,5%	92,65	92,65	1,152

Tabela C12: Durabilidade do motor 3 utilizando o combustível E40 (3º ciclo).

Duração (horas e minutos)	Data	Início (hora)	Término (hora)	Comb. E40	Transmissão				Consumo				Monitoramento					
					RPM	Marcha	i	km/h	litros/hora	g/kW.h	Óleo (°C) 120-130	Vela (°C) 240-250	Admissão Ar (°C)	Ambiente Ar (°C)	Umidade (%)	P amb (kPa)	P adm (kPa)	Lâmbda
0,17	18/07/08	15:30	15:40	Ok	1570	neutro	0	0	0,13	0,00	65,5	126,6	23,9	23,1	39,1%	92,61	92,61	1,277
1,5	21/07/08	08:30	10:00	Ok	6500	2a	19,43	38,14	2,55	358,14	128,3	231,5	25,2	21,4	53,2%	92,86	89,06	0,936
1	21/07/08	10:00	11:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,60	365,64	126,7	229,8	26,9	22,7	49,6%	92,79	88,19	0,929
2	21/07/08	11:00	12:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,62	367,77	124,4	227,0	28,5	23,5	46,6%	92,70	88,30	0,923
3	21/07/08	12:00	13:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,63	369,39	126,1	226,9	29,8	24,6	45,0%	92,59	88,39	0,916
4	21/07/08	13:00	14:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,59	367,16	127,1	227,1	30,8	25,5	43,1%	92,51	88,31	0,912
5	21/07/08	14:00	15:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,62	373,99	124,7	228,8	31,2	26,1	42,5%	92,45	88,25	0,916
6	21/07/08	15:00	16:00	Ok	6500	3a	14,38	51,53	2,61	369,31	128,3	227,5	30,0	25,9	41,9%	92,44	88,84	0,920
1	21/07/08	16:20	17:20	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,63	371,45	124,2	227,9	29,8	25,7	43,5%	92,49	88,09	0,896
2	21/07/08	17:20	18:20	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,61	367,51	123,8	226,8	28,3	25,4	44,3%	92,50	88,10	0,915
3	21/07/08	18:20	19:20	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,61	368,62	127,4	228,5	27,1	24,6	47,1%	92,54	88,14	0,919
4	22/07/08	08:30	09:30	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,54	358,53	120,4	224,4	26,1	22,5	53,0%	92,71	88,51	0,933
5	22/07/08	09:30	10:30	Ok	6500	4a	11,43	64,83	2,59	368,54	128,9	230,7	27,8	23,4	50,4%	92,71	88,51	0,926
1	22/07/08	10:30	11:30	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,19	407,57	129,3	232,2	31,6	25,5	43,6%	92,69	86,89	0,898
2	22/07/08	11:30	12:30	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,18	407,23	121,1	228,5	32,8	26,8	39,2%	92,54	86,74	0,892
3	22/07/08	13:15	14:15	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,20	408,42	126,6	230,0	34,1	28,1	32,4%	92,37	86,77	0,884
4	22/07/08	14:15	15:15	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,21	410,65	121,7	230,2	33,9	28,2	31,3%	92,36	86,76	0,887
5	22/07/08	15:15	16:15	Ok	8500	4a	11,43	84,78	3,22	413,75	123,5	230,1	33,4	27,8	32,6%	92,36	86,76	0,885
1	22/07/08	16:40	17:40	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,23	410,44	128,7	230,0	31,8	27,5	32,0%	92,41	86,61	0,903
2	23/07/08	08:45	09:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,19	405,35	125,4	231,2	29,6	24,5	43,5%	92,65	87,05	0,897
3	23/07/08	09:45	10:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,21	409,27	120,6	226,6	31,2	27,3	40,7%	92,61	87,41	0,894
4	23/07/08	10:45	11:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,22	415,16	120,4	227,4	32,5	27,4	38,0%	92,54	87,34	0,893
5	23/07/08	12:45	13:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,25	420,02	126,3	228,7	34,1	28,1	34,3%	92,50	87,30	0,891
6	23/07/08	13:45	14:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,26	423,19	123,7	228,1	35,2	29,0	31,4%	92,41	87,21	0,885
7	23/07/08	14:45	15:45	Ok	8500	5a	9,56	101,36	3,25	421,46	124,8	229,6	35,1	29,4	29,8%	92,37	86,77	0,891
1	23/07/08	16:45	17:45	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,17	416,05	122,3	228,6	34,4	29,2	29,9%	92,37	86,97	0,912
2	23/07/08	15:45	16:45	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,18	418,53	121,4	227,8	31,5	27,9	42,4%	92,50	87,30	0,918
3	23/07/08	16:45	17:45	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,16	415,02	122,6	227,5	29,8	27,3	44,8%	92,55	87,35	0,915
4	23/07/08	17:45	18:45	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,17	416,77	121,5	226,3	28,5	26,4	47,4%	92,61	87,01	0,913
5	23/07/08	18:45	19:45	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,18	419,98	121,7	229,2	27,8	25,8	48,8%	92,66	87,06	0,917
6	24/07/08	08:40	09:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,17	412,64	122,6	230,3	27,8	23,5	55,9%	92,99	87,59	0,916
7	24/07/08	09:40	10:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,15	412,00	124,9	229,4	29,8	25,2	48,2%	92,94	87,34	0,921
8	24/07/08	10:40	11:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,19	420,13	126,8	230,5	31,5	26,5	42,8%	92,90	87,30	0,925
9	24/07/08	11:40	12:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,17	417,49	125,3	231,0	32,5	27,3	40,1%	92,83	87,23	0,923
10	24/07/08	12:40	13:40	Ok	8107	5a	9,56	96,67	3,15	418,49	125,3	228,9	32,9	27,8	37,2%	92,71	87,31	0,919
1,5	24/07/08	13:40	15:10	Ok	9350	5a	9,56	111,50	3,59	476,17	123,3	229,4	32,8	28,0	37,4%	92,62	87,62	0,864
0,33	24/07/08	15:10	15:30	Ok	1560	neutro	0	0	0,19	0,00	125,8	170,1	29,8	25,8	40,2%	92,81	92,81	1,188

7.4 APÊNDICE D – Tabelas dos levantamentos das curvas de potência e torque, consumo específico e emissões.

Tabela D1: Concentrações de CO dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento.

RPM	Concentrações de CO (%)														
	Ensaio 1 Motor 1				Ensaio 1 Motor 2				Ensaio 1 Motor 3						
	Teste 1-1	Teste 1-2	Teste 1-3	Média	Incerteza	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza
3500	6,51	6,81	5,80	6,37	2,59	5,25	5,11	4,65	5,00	1,55	4,91	5,53	4,91	5,11	1,77
4000	5,96	6,25	5,99	6,07	0,80	5,25	5,60	4,86	5,24	1,84	5,21	5,33	5,02	5,18	0,76
4500	6,05	6,35	5,96	6,12	1,02	4,84	5,32	4,50	4,89	2,03	5,35	4,87	4,97	5,06	1,26
5000	6,43	6,71	6,41	6,52	0,84	5,21	5,80	5,37	5,46	1,52	5,64	5,84	5,91	5,79	0,70
5500	7,53	7,75	7,16	7,48	1,48	6,90	6,93	6,62	6,82	0,84	6,69	6,82	6,80	6,77	0,36
6000	7,63	8,10	7,45	7,72	1,68	7,64	7,52	7,32	7,49	0,82	7,01	7,47	7,00	7,16	1,33
6500	7,65	7,76	7,39	7,60	0,96	7,26	7,36	7,24	7,28	0,31	7,34	7,43	7,40	7,39	0,23
7000	7,58	7,73	7,16	7,49	1,47	7,28	7,13	7,12	7,18	0,43	7,65	7,54	7,44	7,54	0,53
7500	7,68	7,66	7,37	7,57	0,87	7,38	7,51	7,01	7,30	1,29	7,32	7,51	7,47	7,43	0,50
8000	7,51	7,99	7,76	7,75	1,18	7,88	7,81	7,54	7,74	0,89	7,83	8,19	7,60	7,87	1,48
8500	8,41	8,82	8,59	8,61	1,02	8,65	8,67	8,42	8,58	0,69	8,69	9,13	8,93	8,91	1,10
9000	8,76	9,00	8,82	8,86	0,63	8,60	9,02	8,46	8,69	1,44	8,64	9,14	9,09	8,95	1,38

Tabela D2: Concentrações de CO₂ dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento.

RPM	Ensaio 1 Motor 1			Ensaio 1 Motor 2			Ensaio 1 Motor 3								
	Teste 1-1	Teste 1-2	Teste 1-3	Média	Incerteza	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza
3500	11,34	10,77	11,14	11,08	1,423	11,82	11,75	12,11	11,89	0,944	11,78	11,85	11,80	11,81	0,169
4000	11,40	10,97	11,21	11,19	1,058	11,67	11,70	11,83	11,73	0,437	11,93	11,58	11,81	11,77	0,884
4500	11,57	10,81	11,20	11,19	1,888	11,93	11,74	12,03	11,90	0,729	11,84	11,69	11,50	11,68	0,847
5000	11,15	10,57	10,92	10,88	1,449	11,55	11,20	11,58	11,44	1,042	11,63	11,29	11,28	11,40	0,983
5500	10,55	10,19	10,34	10,36	0,898	10,70	10,59	10,85	10,71	0,661	10,93	10,62	10,60	10,72	0,926
6000	10,30	9,71	10,27	10,09	1,651	10,32	10,13	10,45	10,30	0,813	10,61	10,27	10,46	10,44	0,858
6500	10,42	9,90	10,27	10,19	1,333	10,34	10,26	10,23	10,28	0,286	10,64	10,34	10,24	10,41	1,020
7000	10,34	10,02	10,33	10,23	0,911	10,40	10,45	10,52	10,45	0,288	10,34	10,34	10,38	10,35	0,129
7500	10,55	10,07	10,42	10,34	1,237	10,36	10,35	10,60	10,44	0,710	10,57	10,29	10,42	10,43	0,697
8000	10,42	10,11	10,07	10,20	0,946	10,06	10,05	10,34	10,15	0,810	10,34	9,89	10,11	10,11	1,118
8500	9,77	9,39	9,46	9,54	1,000	9,66	9,53	9,75	9,64	0,551	9,67	9,36	9,42	9,48	0,831
9000	9,80	9,18	9,34	9,44	1,595	9,50	9,34	9,65	9,50	0,783	9,66	9,24	9,38	9,43	1,065

Tabela D3: Concentrações de HC dos motores 1, 2 e 3 utilizando o combustível E25 na primeira medição após o amaciamento.

RPM	Concentrações de HC em ppm														
	Ensaio 1 Motor 1			Ensaio 1 Motor 2			Ensaio 1 Motor 3								
	Teste 1-1	Teste 1-2	Teste 1-3	Média	Incerteza	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza
3500	229	242	233	235	33	236	236	228	233	22	242	214	228	228	70
4000	228	244	236	236	40	234	247	244	242	34	234	212	223	223	55
4500	248	254	249	250	16	245	258	255	253	34	242	217	230	230	63
5000	278	285	274	279	26	270	284	287	280	45	251	237	238	242	39
5500	306	320	297	308	56	302	320	319	314	49	281	261	266	269	50
6000	321	334	309	321	62	309	329	321	320	49	292	274	279	281	46
6500	271	290	276	279	48	274	288	282	281	35	266	242	255	254	60
7000	250	262	255	256	31	253	268	264	262	39	244	220	227	230	61
7500	235	247	240	241	30	249	268	256	258	48	234	215	222	224	46
8000	233	244	233	236	31	245	265	252	254	51	232	226	229	229	15
8500	235	253	245	244	45	254	279	261	265	65	253	254	246	251	21
9000	269	284	244	265	101	262	305	267	278	117	237	235	227	233	26

Tabela D4: Potência do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Potência (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)			Média	Incerteza				
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	42%	43%	43%	42%	2%	42%	43%	42%	42%	2%	43%	44%	43%	43%	2%
4000	50%	51%	51%	50%	2%	51%	51%	51%	51%	2%	51%	52%	52%	52%	3%
4500	60%	61%	61%	60%	3%	61%	61%	61%	61%	2%	61%	62%	61%	61%	4%
5000	68%	69%	69%	69%	3%	68%	69%	69%	69%	3%	69%	70%	69%	69%	2%
5500	75%	76%	76%	75%	4%	75%	76%	76%	76%	3%	77%	77%	76%	77%	2%
6000	84%	85%	85%	84%	2%	83%	84%	84%	84%	4%	83%	85%	83%	84%	5%
6500	90%	91%	91%	90%	4%	89%	90%	90%	89%	4%	88%	90%	89%	89%	5%
7000	95%	96%	96%	96%	3%	93%	94%	94%	94%	4%	92%	94%	92%	93%	6%
7500	99%	100%	99%	99%	3%	95%	98%	97%	97%	5%	95%	96%	95%	95%	3%
8000	100%	102%	101%	101%	3%	97%	98%	98%	98%	4%	96%	97%	96%	96%	4%
8500	100%	101%	101%	101%	3%	97%	98%	98%	98%	4%	96%	98%	96%	96%	5%
9000	97%	99%	98%	98%	4%	93%	94%	95%	94%	4%	91%	93%	92%	92%	4%

Tabela D5: Potência do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade.

RPM	Potência (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	41%	41%	41%	41%	1%	41%	41%	41%	41%	0%	42%	42%	42%	42%	0%
4000	49%	49%	49%	49%	1%	49%	49%	49%	49%	1%	51%	51%	51%	51%	2%
4500	59%	58%	58%	58%	1%	58%	58%	58%	58%	1%	60%	60%	60%	60%	2%
5000	67%	67%	67%	67%	1%	66%	66%	66%	66%	1%	68%	68%	67%	68%	1%
5500	73%	74%	73%	73%	2%	73%	73%	73%	73%	1%	75%	75%	75%	75%	2%
6000	81%	81%	81%	81%	1%	80%	80%	80%	80%	1%	81%	82%	81%	82%	1%
6500	87%	87%	87%	87%	1%	85%	85%	85%	85%	1%	87%	87%	86%	87%	1%
7000	91%	91%	91%	91%	1%	89%	89%	89%	89%	1%	91%	91%	90%	91%	2%
7500	95%	95%	95%	95%	1%	92%	92%	92%	92%	1%	93%	93%	93%	93%	1%
8000	96%	97%	96%	96%	1%	93%	93%	94%	93%	1%	94%	94%	94%	94%	1%
8500	95%	96%	96%	96%	2%	93%	93%	93%	93%	1%	94%	94%	94%	94%	2%
9000	94%	94%	94%	94%	2%	90%	91%	91%	91%	2%	91%	91%	91%	91%	1%

Tabela D6: Potência do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Potência (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500															
4000	51%	50%	50%	50%	1%	50%	49%	49%	49%	1%	50%	50%	50%	50%	1%
4500	60%	60%	59%	60%	2%	58%	58%	58%	58%	2%	58%	58%	57%	58%	2%
5000	69%	69%	68%	69%	2%	68%	67%	67%	67%	4%	68%	66%	66%	67%	4%
5500	77%	77%	76%	77%	2%	76%	75%	74%	75%	4%	75%	74%	73%	74%	5%
6000	84%	83%	83%	83%	1%	82%	81%	80%	81%	4%	81%	80%	79%	80%	4%
6500	88%	88%	88%	88%	1%	86%	85%	85%	85%	4%	85%	84%	83%	84%	3%
7000	92%	92%	92%	92%	2%	90%	89%	88%	89%	5%	88%	87%	87%	87%	1%
7500	95%	94%	94%	94%	1%	92%	91%	91%	91%	5%	90%	89%	89%	89%	1%
8000	97%	97%	97%	97%	1%	94%	94%	93%	94%	4%	91%	91%	90%	91%	2%
8500	99%	98%	98%	98%	2%	95%	94%	94%	94%	4%	92%	92%	91%	92%	3%
9000	97%	97%	97%	97%	2%	93%	92%	92%	92%	4%	90%	89%	89%	89%	5%

Tabela D7: Torque do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Torque (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	87%	88%	87%	88%	4%	87%	88%	87%	87%	4%	89%	90%	88%	89%	6%
4000	91%	92%	91%	91%	4%	92%	92%	92%	92%	0%	93%	95%	94%	94%	5%
4500	96%	98%	97%	97%	5%	98%	99%	98%	98%	3%	98%	100%	98%	99%	7%
5000	99%	101%	99%	100%	4%	99%	101%	100%	100%	4%	100%	101%	99%	100%	5%
5500	99%	100%	99%	99%	4%	99%	101%	99%	100%	4%	101%	102%	100%	101%	6%
6000	101%	102%	101%	102%	3%	101%	102%	101%	101%	4%	100%	102%	100%	101%	7%
6500	100%	102%	100%	101%	4%	99%	101%	99%	100%	4%	98%	101%	98%	99%	7%
7000	99%	100%	98%	99%	5%	96%	98%	96%	97%	4%	95%	97%	95%	96%	7%
7500	96%	97%	95%	96%	4%	92%	94%	93%	93%	5%	92%	93%	91%	92%	5%
8000	91%	92%	91%	91%	4%	88%	89%	88%	88%	4%	87%	88%	86%	87%	5%
8500	86%	87%	85%	86%	4%	83%	84%	83%	83%	3%	82%	83%	81%	82%	6%
9000	79%	80%	78%	79%	5%	75%	76%	75%	76%	2%	74%	75%	74%	74%	3%

Tabela D8: Torque do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade.

RPM	Torque (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	85%	84%	83%	84%	3%	84%	84%	83%	84%	2%	86%	86%	86%	86%	2%
4000	89%	87%	87%	88%	4%	88%	87%	87%	87%	3%	92%	91%	90%	91%	5%
4500	94%	92%	92%	93%	4%	93%	92%	91%	92%	3%	97%	95%	95%	95%	5%
5000	97%	95%	95%	96%	4%	96%	95%	94%	95%	4%	97%	97%	96%	97%	3%
5500	96%	96%	95%	96%	4%	96%	95%	94%	95%	4%	98%	98%	97%	97%	2%
6000	97%	97%	97%	97%	2%	96%	95%	95%	95%	3%	98%	97%	97%	97%	2%
6500	96%	96%	95%	96%	3%	94%	94%	94%	94%	2%	96%	95%	95%	95%	3%
7000	94%	93%	93%	93%	2%	92%	91%	91%	91%	2%	94%	93%	92%	93%	4%
7500	91%	91%	90%	91%	2%	88%	88%	88%	88%	2%	90%	89%	89%	89%	3%
8000	87%	86%	86%	86%	2%	84%	83%	83%	84%	2%	85%	84%	84%	84%	2%
8500	81%	81%	81%	81%	1%	79%	78%	78%	78%	1%	79%	79%	79%	79%	0%
9000	75%	75%	74%	75%	1%	72%	72%	72%	72%	1%	73%	73%	72%	73%	1%

Tabela D9: Torque do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Torque (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	/														
4000	89%	88%	88%	88%	1%	87%	86%	86%	87%	2%	88%	87%	87%	87%	1%
4500	93%	93%	93%	93%	2%	91%	90%	90%	90%	2%	91%	90%	90%	90%	2%
5000	97%	96%	96%	96%	2%	96%	94%	94%	95%	6%	95%	93%	93%	94%	6%
5500	99%	98%	98%	98%	2%	97%	96%	96%	96%	4%	96%	94%	94%	94%	5%
6000	98%	97%	98%	98%	1%	96%	95%	94%	95%	4%	94%	94%	93%	94%	4%
6500	95%	95%	95%	95%	1%	93%	92%	91%	92%	3%	91%	91%	90%	91%	3%
7000	92%	92%	92%	92%	1%	91%	89%	89%	90%	5%	88%	87%	88%	88%	1%
7500	89%	88%	88%	88%	1%	86%	86%	85%	86%	4%	84%	84%	83%	84%	1%
8000	85%	85%	85%	85%	0%	83%	82%	82%	82%	3%	80%	80%	80%	80%	1%
8500	82%	81%	81%	81%	1%	78%	78%	77%	78%	3%	76%	76%	75%	76%	2%
9000	76%	75%	76%	76%	1%	73%	72%	72%	72%	2%	71%	70%	69%	70%	3%

Tabela D10: Consumo específico de combustível do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Consumo de Combustível (g/kW.h)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	341,71	335,01	333,79	336,84	21,21	330,75	329,54	324,08	328,13	17,66	354,03	350,99	352,99	352,67	7,69
4000	341,25	347,37	355,46	348,03	35,42	334,09	335,13	325,54	331,59	26,13	358,89	365,64	367,12	363,88	21,80
4500	358,72	364,90	362,35	361,99	15,43	339,73	338,92	346,05	341,57	19,38	364,99	372,59	367,52	368,37	19,21
5000	368,83	376,67	370,52	372,01	20,51	336,68	334,44	339,63	336,92	12,93	373,32	377,49	372,75	374,52	12,85
5500	378,77	366,99	382,02	375,93	39,29	332,58	323,75	331,22	329,19	23,61	355,90	366,10	361,25	361,09	25,35
6000	364,56	353,06	370,04	362,55	43,05	342,11	346,36	336,85	341,77	23,67	350,13	354,89	346,80	350,61	20,22
6500	367,32	357,31	372,02	365,55	37,33	363,36	356,70	356,09	358,72	20,04	346,77	361,87	353,73	354,12	37,55
7000	365,30	376,37	358,99	366,89	43,70	376,83	377,65	376,41	376,96	3,15	357,88	360,93	370,18	363,00	31,82
7500	370,08	377,65	379,01	375,58	23,92	393,00	385,09	385,71	387,93	21,85	380,01	370,10	383,93	378,01	35,42
8000	392,08	392,68	384,27	389,67	23,29	409,39	404,79	400,20	404,79	22,83	394,94	386,94	403,92	395,27	42,20
8500	405,52	414,70	407,68	409,30	23,85	426,13	423,09	416,25	421,82	25,15	415,19	402,59	417,47	411,75	39,80
9000	431,30	436,12	434,04	433,82	11,99	459,35	456,88	447,43	454,55	31,27	459,53	444,55	450,40	451,49	37,50

Tabela D11: Consumo específico de combustível do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade.

RPM	Consumo de Combustível (g/kW.h)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	365,96	372,92	366,24	368,37	19,59	387,46	400,63	388,89	392,33	35,89	372,74	379,57	384,62	378,98	29,63
4000	375,90	362,06	365,88	367,95	35,52	399,84	388,82	390,85	393,17	29,13	373,57	374,27	404,70	384,18	88,30
4500	363,37	355,20	365,81	361,46	27,59	385,69	377,04	392,41	385,04	38,27	365,25	376,97	374,31	372,18	30,53
5000	373,11	372,18	376,18	373,82	10,39	402,80	401,14	407,41	403,78	16,13	392,23	396,52	391,43	393,39	13,61
5500	370,36	364,68	377,36	370,80	31,54	401,30	406,95	399,09	402,45	20,15	390,13	390,86	388,61	389,87	5,71
6000	362,19	371,64	375,62	369,82	34,28	395,46	397,16	387,81	393,48	24,75	393,61	388,18	392,23	391,34	14,03
6500	358,74	364,92	371,91	365,19	32,74	386,18	382,57	382,12	383,62	11,07	376,83	381,04	388,17	382,01	28,49
7000	369,16	361,33	373,15	367,88	29,87	384,78	380,46	377,42	380,89	18,36	370,85	383,70	391,37	381,97	51,53
7500	365,89	358,85	376,58	367,11	44,37	392,06	383,70	380,76	385,51	29,12	384,93	387,83	393,03	388,60	20,38
8000	386,29	380,91	397,73	388,31	42,68	401,21	403,50	407,63	404,11	16,17	400,45	401,27	409,77	403,83	25,64
8500	423,92	423,39	420,70	422,67	8,57	433,78	437,92	438,04	436,58	12,05	436,29	436,53	439,68	437,50	9,40
9000	457,49	449,49	457,31	454,76	22,70	464,78	472,57	475,18	470,84	26,88	457,66	465,24	467,63	463,51	25,86

Tabela D12: Consumo específico de combustível do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Consumo de Combustível (g/kW.h)															
	Ensaio 2 (36 horas)				Ensaio 3 (72 horas)				Ensaio 4 (108 horas)							
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza	
3500																
4000	345,74	348,35	353,46	349,18	19,51	383,63	374,95	387,61	382,06	32,15	364,07	362,07	369,90	365,35	20,22	
4500	370,92	362,74	372,49	368,71	26,01	379,03	372,97	370,27	374,09	22,28	367,95	360,85	361,43	363,41	19,59	
5000	345,44	349,62	359,51	351,52	35,89	378,27	372,73	361,62	370,87	42,13	367,88	366,81	363,81	366,16	10,49	
5500	328,77	328,06	339,54	332,13	31,97	365,29	356,57	370,29	364,05	34,49	370,08	368,10	375,72	371,30	19,64	
6000	333,78	336,27	346,83	338,96	34,44	363,25	354,19	370,04	362,50	39,49	367,14	376,06	373,09	372,10	22,56	
6500	335,16	345,14	338,39	339,57	25,30	375,62	364,22	380,39	373,41	41,27	367,02	375,32	369,46	370,60	21,19	
7000	348,54	353,54	361,26	354,44	31,84	375,81	376,21	385,64	379,22	27,65	377,03	383,05	389,50	383,19	31,00	
7500	370,22	378,25	383,41	377,29	33,03	387,29	389,70	400,04	392,35	33,66	391,25	396,47	403,27	397,00	29,95	
8000	393,14	403,57	402,77	399,82	28,84	404,52	410,67	416,73	410,64	30,34	406,21	414,76	418,74	413,24	31,81	
8500	415,58	415,30	415,15	415,34	1,08	429,14	432,06	427,42	429,54	11,65	436,23	441,08	437,23	438,18	12,71	
9000	439,78	437,85	436,35	438,00	8,53	455,14	462,46	450,30	455,97	30,43	476,08	474,90	471,23	474,07	12,56	

Tabela D13: Concentrações de CO do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de CO (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	7,30	6,87	6,88	7,01	1,21	5,19	4,82	4,69	4,90	1,29	7,24	6,97	6,80	7,00	1,10
4000	6,67	6,79	6,62	6,69	0,44	5,05	4,98	4,47	4,83	1,57	6,69	6,48	6,64	6,60	0,56
4500	6,03	6,07	6,52	6,21	1,34	5,29	5,35	4,80	5,15	1,49	6,46	6,51	6,06	6,34	1,22
5000	6,83	6,52	6,47	6,61	0,97	5,72	5,54	4,77	5,34	2,51	6,71	6,48	6,46	6,55	0,70
5500	7,36	7,75	7,05	7,39	1,73	6,40	5,98	5,42	5,93	2,44	6,82	6,81	6,72	6,78	0,27
6000	7,14	7,48	7,45	7,35	0,92	6,83	6,27	5,45	6,18	3,45	7,22	7,00	6,76	6,99	1,13
6500	7,29	6,76	6,86	6,97	1,41	6,61	6,34	5,96	6,30	1,62	6,80	6,74	6,72	6,75	0,21
7000	7,21	7,37	6,80	7,13	1,46	6,63	6,00	5,76	6,13	2,22	6,64	6,72	6,61	6,65	0,30
7500	7,10	7,26	6,82	7,06	1,11	6,71	6,24	5,85	6,27	2,14	6,80	6,42	6,67	6,63	0,96
8000	7,35	7,52	7,56	7,47	0,54	7,36	6,75	6,22	6,77	2,83	7,26	6,96	7,21	7,14	0,81
8500	7,95	8,31	7,71	7,99	1,50	7,74	6,97	6,73	7,15	2,63	7,64	7,21	7,65	7,50	1,25
9000	8,22	8,49	7,93	8,21	1,39	7,84	7,82	6,92	7,53	2,60	7,84	7,86	7,79	7,83	0,19

Tabela D14: Concentrações de CO do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de CO (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	6,47	6,67	6,67	6,60	0,59	6,82	6,78	7,09	6,90	0,84	5,37	6,17	6,44	5,99	2,77
4000	6,20	6,32	6,72	6,41	1,34	6,04	6,37	6,49	6,30	1,14	5,03	5,68	6,00	5,57	2,46
4500	5,48	5,90	5,76	5,71	1,07	5,33	5,41	5,85	5,53	1,39	4,73	4,80	5,65	5,06	2,56
5000	6,66	6,23	6,68	6,52	1,27	6,15	6,31	6,04	6,16	0,67	5,38	5,80	6,18	5,78	1,98
5500	7,36	7,36	7,21	7,31	0,42	6,74	7,03	7,09	6,95	0,92	5,81	6,15	6,36	6,10	1,38
6000	8,06	8,13	8,30	8,16	0,63	7,19	7,69	7,54	7,47	1,27	6,35	6,60	7,06	6,67	1,79
6500	7,81	8,25	7,98	8,01	1,11	7,04	6,95	7,33	7,10	0,99	6,48	6,49	7,15	6,70	1,90
7000	7,78	7,90	8,01	7,90	0,57	7,07	7,10	7,51	7,22	1,21	6,46	6,61	7,18	6,75	1,88
7500	7,61	7,84	8,06	7,84	1,12	7,23	7,17	7,43	7,27	0,69	6,62	6,80	7,26	6,89	1,65
8000	8,39	8,34	8,33	8,35	0,16	7,89	7,89	8,12	7,96	0,65	7,19	7,53	7,68	7,47	1,25
8500	8,97	9,09	9,18	9,08	0,52	8,08	8,16	8,45	8,23	0,96	7,82	7,99	8,20	8,00	0,93
9000	8,97	8,97	9,22	9,05	0,72	8,33	8,42	8,35	8,36	0,23	7,97	8,09	8,62	8,23	1,73

Tabela D15: Concentrações de CO do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de CO (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500															
4000	0,81	0,84	0,96	0,87	0,41	1,08	1,33	1,39	1,26	0,83	0,66	0,80	0,85	0,77	0,49
4500	0,81	0,73	0,78	0,77	0,21	0,83	0,94	1,03	0,93	0,51	0,52	0,55	0,69	0,59	0,46
5000	1,52	1,55	1,69	1,58	0,44	1,45	1,68	1,70	1,61	0,70	1,24	1,16	1,38	1,26	0,57
5500	2,38	2,66	2,50	2,51	0,68	2,65	3,00	2,87	2,84	0,87	2,06	2,25	2,17	2,16	0,46
6000	2,52	2,38	2,77	2,56	0,97	2,74	2,90	3,01	2,88	0,69	2,04	2,32	2,30	2,22	0,78
6500	2,35	2,33	2,55	2,41	0,61	2,46	2,75	2,64	2,62	0,72	2,16	2,03	2,07	2,09	0,32
7000	2,43	2,39	2,57	2,46	0,46	2,37	2,61	2,67	2,55	0,79	1,94	2,04	2,33	2,10	1,02
7500	2,29	2,39	2,70	2,46	1,06	2,42	2,55	2,51	2,49	0,33	2,15	2,16	2,31	2,20	0,44
8000	2,72	2,92	3,18	2,94	1,16	2,93	2,95	3,09	2,99	0,45	2,21	2,32	2,52	2,35	0,79
8500	3,44	3,64	3,66	3,58	0,60	3,57	3,51	3,65	3,58	0,34	3,08	3,03	3,23	3,11	0,53
9000	3,81	3,98	4,18	3,99	0,93	3,97	3,87	3,95	3,93	0,25	3,62	3,58	3,65	3,62	0,17

Tabela D16: Concentrações de CO₂ do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de CO ₂ (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	10,43	10,66	10,75	10,61	0,81	11,68	11,93	12,26	11,96	1,45	10,52	10,42	10,70	10,55	0,71
4000	10,62	10,75	10,89	10,75	0,67	11,89	11,83	12,21	11,97	1,01	10,77	10,83	10,87	10,82	0,24
4500	11,15	11,19	11,06	11,13	0,34	11,53	11,74	12,01	11,76	1,21	10,91	10,94	11,22	11,02	0,86
5000	10,68	10,79	10,79	10,75	0,31	11,29	11,34	11,74	11,46	1,23	10,78	10,78	10,94	10,83	0,45
5500	10,25	10,27	10,52	10,34	0,75	11,03	11,17	11,45	11,21	1,06	10,73	10,77	11,02	10,84	0,79
6000	10,33	10,32	10,31	10,32	0,06	10,68	10,92	11,10	10,90	1,05	10,58	10,37	10,54	10,49	0,55
6500	10,37	10,70	10,71	10,59	0,98	10,80	10,95	11,26	11,00	1,17	10,64	10,56	10,95	10,71	1,02
7000	10,58	10,58	10,58	10,58	0,01	10,86	11,17	11,30	11,11	1,12	10,74	10,66	10,90	10,76	0,61
7500	10,52	10,52	10,76	10,60	0,70	10,78	10,99	11,23	11,00	1,12	10,81	10,83	10,90	10,85	0,24
8000	10,31	10,32	10,24	10,29	0,21	10,43	10,77	10,87	10,69	1,13	10,61	10,59	10,46	10,55	0,41
8500	9,73	9,98	10,09	9,93	0,92	10,13	10,52	10,79	10,48	1,65	10,27	10,36	10,30	10,31	0,24
9000	9,85	9,76	10,09	9,90	0,86	10,01	9,93	10,53	10,15	1,61	9,98	9,96	10,05	10,00	0,22

Tabela D17: Concentrações de CO₂ do motor 2 utilizando o combustível C-9 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de CO ₂ (%)														
	Ensaio 2 (36 horas)				Ensaio 3 (72 horas)				Ensaio 4 (108 horas)						
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	11,73	11,43	11,22	11,46	1,27	11,25	11,24	10,93	11,14	0,92	11,98	11,54	11,27	11,59	1,79
4000	11,85	11,68	11,33	11,62	1,31	11,68	11,39	11,22	11,43	1,16	12,37	11,83	11,54	11,91	2,09
4500	12,12	11,82	11,58	11,84	1,33	12,03	11,83	11,63	11,83	0,98	12,76	12,15	11,94	12,28	2,12
5000	11,44	11,44	11,24	11,37	0,57	11,71	11,37	11,17	11,42	1,34	12,14	11,66	11,44	11,74	1,79
5500	10,78	10,75	10,68	10,73	0,24	11,12	11,01	10,91	11,01	0,52	11,81	11,50	11,22	11,51	1,48
6000	10,40	10,24	10,19	10,28	0,55	10,74	10,56	10,44	10,58	0,75	11,60	11,18	10,80	11,19	1,99
6500	10,47	10,44	10,51	10,47	0,17	10,78	10,61	10,56	10,65	0,57	11,25	11,32	11,08	11,22	0,63
7000	10,55	10,57	10,34	10,48	0,64	10,87	10,81	10,55	10,74	0,85	11,48	11,24	10,96	11,23	1,29
7500	10,70	10,58	10,35	10,54	0,87	10,76	10,59	10,45	10,60	0,77	11,48	10,99	10,91	11,13	1,53
8000	10,21	10,23	10,13	10,19	0,26	10,49	10,33	10,14	10,32	0,87	10,87	10,62	10,59	10,69	0,76
8500	9,70	9,68	9,65	9,68	0,14	10,14	10,11	9,95	10,06	0,49	10,55	10,45	10,17	10,39	0,97
9000	9,72	9,86	9,45	9,68	1,05	10,13	10,00	9,53	9,89	1,56	10,43	10,44	9,97	10,28	1,34

Tabela D18: Concentrações de CO₂ do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500															
4000	14,24	14,11	14,10	14,15	0,39	14,09	13,92	13,96	13,99	0,43	14,15	14,20	14,24	14,20	0,22
4500	14,19	14,19	14,21	14,20	0,04	14,19	14,09	14,13	14,13	0,26	14,21	14,09	14,20	14,16	0,34
5000	14,25	14,01	13,99	14,08	0,73	14,11	13,91	13,88	13,97	0,63	14,27	14,10	14,13	14,16	0,45
5500	13,55	13,43	13,29	13,42	0,66	13,41	13,15	13,16	13,24	0,73	13,74	13,49	13,58	13,60	0,63
6000	13,48	13,38	13,16	13,34	0,80	13,37	13,17	13,09	13,21	0,72	13,60	13,38	13,47	13,48	0,55
6500	13,55	13,51	13,29	13,45	0,69	13,32	13,31	13,26	13,29	0,15	13,55	13,58	13,48	13,54	0,25
7000	13,66	13,52	13,42	13,53	0,59	13,51	13,29	13,23	13,34	0,72	13,77	13,53	13,53	13,61	0,67
7500	13,69	13,54	13,37	13,53	0,80	13,50	13,36	13,29	13,38	0,53	13,78	13,58	13,61	13,66	0,52
8000	13,56	13,34	13,16	13,35	1,00	13,32	13,25	13,24	13,27	0,23	13,65	13,58	13,50	13,57	0,36
8500	13,04	13,00	12,90	12,98	0,37	12,99	12,81	12,89	12,90	0,44	13,37	13,22	13,16	13,25	0,55
9000	12,94	12,70	12,67	12,77	0,73	12,73	12,65	12,48	12,62	0,64	12,93	12,88	12,86	12,89	0,18

Tabela D19: Concentrações de HC do motor 1 utilizando o combustível E25 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de HC em ppm														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	247	252	252	250	14	251	257	244	251	32	290	282	290	287	22
4000	243	242	242	242	3	256	255	245	252	30	278	277	283	279	16
4500	244	240	244	243	11	278	275	255	269	62	284	288	292	288	19
5000	272	260	268	267	30	298	294	276	289	58	304	305	312	307	23
5500	290	285	292	289	18	314	314	297	308	49	319	317	325	320	21
6000	302	284	287	291	48	326	325	304	318	62	324	326	339	330	40
6500	268	245	252	255	59	288	290	267	282	63	299	306	312	306	32
7000	243	231	229	234	38	262	263	243	256	56	283	294	288	288	27
7500	230	218	217	221	35	248	250	228	242	60	264	278	276	273	38
8000	226	217	219	221	24	238	248	224	237	60	253	272	266	263	49
8500	230	221	220	224	27	254	263	226	248	96	254	262	262	259	23
9000	234	220	223	226	35	285	287	244	272	120	290	286	289	288	9

Tabela D20: Concentrações de HC do motor 2 utilizando o combustível C9 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de HC em ppm														
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)								
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza
3500	236	240	238	238	11	281	286	283	283	13	275	282	288	282	32
4000	243	233	235	237	27	273	281	280	278	22	268	274	278	273	25
4500	253	246	243	247	27	286	289	291	289	13	274	281	288	281	35
5000	270	270	265	268	14	312	318	319	316	19	304	306	317	309	35
5500	286	283	285	285	8	326	330	329	328	9	309	311	320	313	28
6000	302	295	298	298	17	319	324	332	325	33	308	310	322	313	38
6500	269	262	260	264	23	277	290	288	285	35	288	288	295	290	20
7000	253	245	246	248	23	263	274	264	267	31	265	277	278	273	36
7500	240	233	236	236	16	249	265	255	256	40	254	261	268	261	35
8000	233	229	228	230	14	249	256	245	250	28	247	249	260	252	35
8500	238	230	232	233	21	250	245	231	242	48	239	236	257	244	56
9000	225	223	221	223	10	233	223	220	225	34	223	225	228	225	13

Tabela D21: Concentrações de HC do motor 3 utilizando o combustível E40 ao longo da durabilidade.

RPM	Concentrações de HC em ppm															
	Ensaio 2 (36 horas)			Ensaio 3 (72 horas)			Ensaio 4 (108 horas)									
	Teste 2-1	Teste 2-2	Teste 2-3	Média	Incerteza	Teste 3-1	Teste 3-2	Teste 3-3	Média	Incerteza	Teste 4-1	Teste 4-2	Teste 4-3	Média	Incerteza	
3500																
4000	163	152	153	156	31	168	166	166	167	4	179	176	171	175	20	
4500	165	151	156	157	35	162	164	168	165	15	187	186	175	183	33	
5000	173	165	166	168	22	180	177	188	182	28	199	195	186	193	33	
5500	190	179	178	182	33	188	187	190	188	8	208	202	201	204	19	
6000	184	174	175	178	26	179	183	185	182	14	206	196	195	199	30	
6500	164	158	159	160	17	163	157	162	161	16	188	179	177	181	29	
7000	155	142	149	149	31	153	152	157	154	14	177	171	165	171	30	
7500	146	139	140	142	17	149	156	158	154	23	175	170	166	170	22	
8000	152	141	139	144	35	144	154	157	152	34	170	163	161	165	23	
8500	149	147	134	143	40	150	152	156	153	15	167	164	164	165	9	
9000	137	132	122	130	38	135	134	144	138	27	162	150	155	156	30	

8. ANEXO A – Acompanhamento dos óleos lubrificantes analisados.

Tabela A1: Análise do óleo lubrificante após o amaciamento.

Item	Ensaio	Método	Óleo novo (sem uso)	Após o amaciamento		
				Motor 1 E25	Motor 2 E25	Motor 3 E25
1	Índice de viscosidade	D-2270	132	121	129	123
2	Número de basicidade total (mg KOH/g)	D-2896	8,82	9,49	9,49	9,71
3	Viscosidade a 40°C, cSt	D-445	144,34	155,51	140,25	144,27
4	Viscosidade a 100°C, cSt	D-446	17,39	17,34	16,80	16,57
5	Viscosidade a 150°C, cSt	D-447	6,42	6,25	6,21	6,05
6	Número de acidez total (mg KOH/ g)	D-664	1,59	2,00	2,01	2,02
7	Alumínio, ppm	Espectrométrico EEO	1,7	0,0	19,2	17,2
8	Cobre, ppm	Espectrométrico EEO	0,1	42,8	40,4	36,5
9	Ferro, ppm	Espectrométrico EEO	2,5	45,7	33,1	38,5
10	Silício, ppm	Espectrométrico EEO	6,7	61,7	32,5	52,2
11	Zinco, ppm	Espectrométrico EEO	1083	1068	1108	1107
12	Oxidação, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	13,0	11,0	11,0
13	Nitração, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	6,0	5,0	5,0
14	Sulfatos, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	8,0	5,0	5,0
15	Porcentagem gasolina, CG	D-3525	0,228	1,069	1,351	1,171
16	Porcentagem álcool, CG	D-3525	0,239	0,287	0,322	0,341

Tabela A2: Análise do óleo lubrificante após o primeiro ciclo.

Item	Ensaio	Método	Óleo novo (sem uso)	1º Ciclo - 36 horas																	
				10 minutos						18 horas						36 horas					
				E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40						
1	Índice de viscosidade	D-2270	132	119	124	121	117	114	116	118	115	114	114	114	114						
2	Número de basicidade total (mg KOH/g)	D-2896	8,82	8,35	9,08	8,18	9,04	9,53	6,81	9,20	10,38	6,52	6,52	6,52	6,52						
3	Viscosidade a 40°C, cSt	D-445	144,34	153,44	147,30	148,90	168,56	158,61	168,34	206,73	184,94	198,33	198,33	198,33	198,33						
4	Viscosidade a 100°C, cSt	D-446	17,39	16,93	16,89	16,78	17,93	16,93	16,69	20,74	18,88	19,74	19,74	19,74	19,74						
5	Viscosidade a 150°C, cSt	D-447	6,42	6,10	6,16	6,09	6,36	6,04	6,32	7,14	6,59	6,80	6,80	6,80	6,80						
6	Número de acidez total (mg KOH/ g)	D-664	1,59	2,47	1,96	2,61	2,88	1,97	2,75	3,27	2,08	3,31	3,31	3,31	3,31						
7	Alumínio, ppm	Espectrométrico EEO	1,7	4,9	4,4	3,7	19,0	16,4	14,6	25,4	29,6	19,5	19,5	19,5	19,5						
8	Cobre, ppm	Espectrométrico EEO	0,1	4,2	3,7	3,9	16,1	18,5	13,6	20,2	25,3	17,1	17,1	17,1	17,1						
9	Ferro, ppm	Espectrométrico EEO	2,5	5,6	4,3	4,8	46,6	33,5	46,0	43,2	36,1	47,5	47,5	47,5	47,5						
10	Silício, ppm	Espectrométrico EEO	6,7	11,3	8,7	9,8	16,7	13,4	15,0	18,6	15,5	17,7	17,7	17,7	17,7						
11	Zinco, ppm	Espectrométrico EEO	1083	1104	1082	1099	971	958	937	1056	991	1048	1048	1048	1048						
12	Oxidação, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	3,0	9,0	0,0	6,0	14,0	5,0	10,0	17,0	10,0	10,0	10,0	10,0						
13	Nitração, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0	7,0	4,0	7,0	9,0	7,0	7,0	7,0	7,0						
14	Sulfatos, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	0,0	5,0	0,0	6,0	8,0	5,0	10,0	11,0	9,0	9,0	9,0	9,0						
15	Porcentagem gasolina, CG	D-3525	0,228	0,620	0,637	0,859	0,973	0,966	0,945	1,062	0,771	0,919	0,919	0,919	0,919						
16	Porcentagem álcool, CG	D-3525	0,239	0,059	0,079	0,053	0,047	0,042	0,060	0,052	0,028	0,040	0,040	0,040	0,040						

Tabela A3: Análise do óleo lubrificante após o segundo ciclo.

Item	Ensaio	Método	Óleo novo (sem uso)	2º Ciclo - 72 horas																	
				10 minutos						18 horas						36 horas					
				E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40						
1	Índice de viscosidade	D-2270	132	113	120	115	119	117	116	116	116	116	116	115	114						
2	Número de basicidade total (mg KOH/g)	D-2896	8,82	8,28	9,33	8,86	9,59	9,70	9,42	10,00	10,52	9,90									
3	Viscosidade a 40°C, cSt	D-445	144,34	164,95	155,63	164,10	183,85	171,84	175,04	221,16	202,59	204,47									
4	Viscosidade a 100°C, cSt	D-446	17,39	17,22	17,20	17,37	19,18	18,10	18,30	21,45	20,05	20,14									
5	Viscosidade a 150°C, cSt	D-447	6,42	6,09	6,19	6,17	6,73	6,40	6,45	7,30	6,90	6,91									
6	Número de acidez total (mg KOH/ g)	D-664	1,59	2,63	2,53	1,66	2,87	2,69	1,84	1,62	3,11	2,34									
7	Alumínio, ppm	Espectrométrico EEO	1,7	4,2	4,5	3,5	11,5	11	9	22,7	28,6	18,8									
8	Cobre, ppm	Espectrométrico EEO	0,1	1,9	2,7	1,7	6,1	10,7	7	11,9	18,9	12,7									
9	Ferro, ppm	Espectrométrico EEO	2,5	6,3	4,9	6,6	25,2	20,2	18,4	32,6	58,6	26,4									
10	Silício, ppm	Espectrométrico EEO	6,7	7,9	6,3	6,8	13,0	10,1	10,8	19,0	14,6	15,1									
11	Zinco, ppm	Espectrométrico EEO	1083	1097	1098	1121	910	921	931	1001	968	1033									
12	Oxidação, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	0,0	9	0,0	6	15	0	11	19	11									
13	Nitração, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	0,0	4	0,0	4	7	4	7	10	7									
14	Sulfatos, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	0,0	5	0,0	5	9	5	10	13	9									
15	Porcentagem gasolina, CG	D-3525	0,228	0,803	0,645	0,856	1,044	0,893	0,881	0,759	0,681	0,524									
16	Porcentagem álcool, CG	D-3525	0,239	0,097	0,080	0,160	0,050	0,038	0,151	0,062	0,020	0,078									

Tabela A4: Análise do óleo lubrificante após o terceiro ciclo.

Item	Ensaio	Método	Óleo novo (sem uso)	3º Ciclo - 108 horas											
				10 minutos				18 horas				36 horas			
				E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40	E25	C9	E40
1	Índice de viscosidade	D-2270	132	117	118	116	116	117	117	117	116	116	116	114	113
2	Número de basicidade total (mg KOH/g)	D-2896	8,82	9,37	9,24	9,07	10,08	9,73	9,67	10,22	10,43	10,07			
3	Viscosidade a 40°C, cSt	D-445	144,34	159,90	157,78	161,88	172,19	167,32	175,39	196,31	198,80	195,10			
4	Viscosidade a 100°C, cSt	D-446	17,39	17,26	17,18	17,28	18,22	17,81	18,39	19,75	19,68	19,40			
5	Viscosidade a 150°C, cSt	D-447	6,42	6,16	6,16	6,48	6,44	6,32	6,48	6,84	6,78	6,70			
6	Número de acidez total (mg KOH/ g)	D-664	1,59	2,06	2,51	1,71	3,20	2,74	1,95	2,07	3,34	2,34			
7	Alumínio, ppm	Espectrométrico EEO	1,7	2,8	3,6	3,3	10,1	13	10,4	20,4	35,8	15,3			
8	Cobre, ppm	Espectrométrico EEO	0,1	1,0	1,7	1,3	3,8	8,2	5,0	6,4	14,1	8,0			
9	Ferro, ppm	Espectrométrico EEO	2,5	3,9	6,9	4,4	19,6	21,8	21,7	26,4	30,4	46,3			
10	Silício, ppm	Espectrométrico EEO	6,7	7,0	6,0	6,7	10,8	11,0	11,5	16,3	16,4	16,0			
11	Zinco, ppm	Espectrométrico EEO	1083	1038	1076	1130	905	916	980	950	1009	1051			
12	Oxidação, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	10	10	0,0	15	15	7	19	19	10			
13	Nitração, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	4	4	0,0	7	8	4	9	10	6			
14	Sulfatos, Abs/ cm	IT-BTC-110M	0,0	5	5	0,0	9	8	6	12	12	9			
15	Porcentagem gasolina, CG	D-3525	0,228	0,669	0,78	0,948	0,824	0,903	1,016	0,702	0,751	0,500			
16	Porcentagem álcool, CG	D-3525	0,239	0,060	0,089	0,144	0,045	0,038	0,233	0,026	0,021	0,075			