



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGROENERGIA**

MÁRCIO ALVES DE AGUIAR

**AVALIAÇÃO DAS CURVAS DE DESEMPENHO EM BANCADA
DINAMOMÉTRICA DE UM MOTOR CICLO DIESEL, TURBO-
COMPRESSOR, UTILIZANDO DIESEL E BIODIESEL (B-20), (B-50),
(B-100) E AN AS EMISSÕES DOS GASES.**

PALMAS - TO

2016

MÁRCIO ALVES DE AGUIAR

**AVALIAÇÃO DAS CURVAS DE DESEMPENHO EM BANCADA
DINAMOMÉTRICA DE UM MOTOR CICLO DIESEL, TURBO-
COMPRESSOR, UTILIZANDO DIESEL E BIODIESEL (B-20), (B-50),
(B-100) E ANALISAR AS EMISSÕES DOS GASES.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agroenergia da Universidade
Federal do Tocantins como requisito para
obtenção do título de mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Juan Carlos Valdés Serra.


PALMAS - TO


2016


MÁRCIO ALVES DE AGUIAR

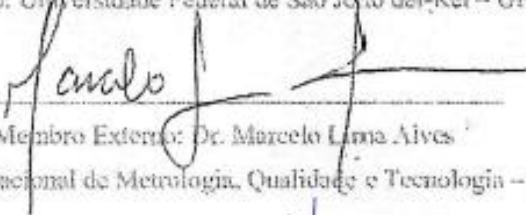
**AVALIAÇÃO DAS CURVAS DE DESEMPENHO EM BANCADA
DINAMOMÉTRICA DE UM MOTOR CICLO DIESEL, TURBO-
COMPRESSOR, UTILIZANDO DIESEL E BIODIESEL (B-20), (B-50),
(B-100) E ANALISAR AS EMISSÕES DOS GASES.**

Banca Examinadora:


Presidente: Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra
Instituição: Universidade Federal do Tocantins – UFT


Membro Interno: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior
Instituição: Universidade Federal do Tocantins – UFT


Membro Externo: Prof. Dr. Felipe Soto Pau
Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ


Membro Externo: Dr. Marcelo Lima Alves
Instituição: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO-RJ

Atesto que o trabalho foi corrigido conforme orientação da banca.


Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra
Palmas-TO, 15 / 08 / 2016

AGUIAR, Márcio Alves de.

Avaliação das Curvas de Desempenho em Bancada Dinamométrica de um Motor Ciclo Diesel, turbo-compressor, utilizando Diesel e Biodiesel (B-20), (B-50), (B-100) e analisar as emissões dos gases. / Márcio Alves de Aguiar.
– Palmas: Universidade Federal do Tocantins (UFT), 2016.

161 p.

1 Biocombustível. 2. Curvas de Desempenho. 3. Material Particulado.

“Dedico este trabalho aos meus pais Jesus e Laudemira em suas orações, ao meu irmão Kléber, à minha esposa Fernanda e aos nossos queridos filhos Henrique e Herick, pelo apoio e compreensão”.

*“Procure ser um homem de valor, em vez de ser
um homem de sucesso”.*

Albert Einstein

*“Se não buscarmos o impossível, acabamos por
não realizar o possível”*

Leonardo Boff

RESUMO

AGUIAR, Márcio Alves. **Avaliação das Curvas de Desempenho em Bancada Dinamométrica de um Motor Ciclo Diesel, Turbo-compressor, utilizando Diesel e Biodiesel (B-20), (B-50), (B-100) e Analisar as Emissões dos Gases.** Palmas: UFT, 2016. 161p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, 2016.

Este trabalho desenvolvido teve por objetivo avaliar o desempenho de um motor diesel instalado numa bancada dinamométrica, sendo utilizados para os ensaios o diesel S-10 e os biodieseis de soja nas proporções 20%, 50% e 100%, ainda sendo avaliados as emissões dos gases da queima destes combustíveis. Os resultados dos dados coletados relativos aos parâmetros de potência, torque, consumo de combustível, assim como dos gases quanto ao número de fumaça, fuligem e nível de poluição foram comparados entre combustíveis nos diversos níveis rotacionais, segundo a norma da ABNT ISO 1585. Observou-se que, com o uso de B-20, os resultados quanto ao torque e potência foram semelhantes ao diesel, porém com aumento do consumo de combustível. Já com o aumento das concentrações para B-50 e B-100, estes apresentaram, em ordem crescente, queda de desempenho com aumento do consumo de combustível. No entanto, o B-100 demonstrou ser o menor emissor de poluentes entre os combustíveis observados nos testes. Posto os resultados, pode-se formalizar conclusões de que o diesel apresentou melhor desempenho quanto aos parâmetros analisados, contudo o B-20 é uma opção em substituição ao diesel S-10, pois apresentou desempenho semelhante ao diesel com a vantagem de ser um combustível renovável e que tende a diminuir os impactos ambientais. Por outro lado, o B-100 embora tenha sido observado o menor desempenho entre os demais combustíveis, todavia por ser 100% renovável, suas baixas emissões de gases, melhoria da qualidade de vida, principalmente em grandes centros urbanos apresentando, portanto, combustível em potencial em substituição ao diesel para o uso em motores a diesel. Contudo, a associação com outras fontes de combustíveis renováveis e pequenas modificações nos motores podem contribuir para o melhor desempenho, ainda que mantenham baixas emissões de gases, apresentados como sugestões de trabalhos futuros.

Palavras-chave: Biocombustíveis, Curvas de Desempenho, Material Particulado.

ABSTRACT

AGUIAR, Márcio Alves. **Performance Curves for Evaluation Dynamometer Bench of a Motor Cycle Diesel, Turbo-compressor using Diesel and Biodiesel (B-20), (B-50), (B-100) and Analyze the Gases Emissions** Palmas: UFT, 2016. 161p. Dissertation (Masters in Agroenergia) - Federal University of Tocantins, 2016.

This work aimed to evaluate the performance of a diesel engine installed on a dynamometer bench, being used for testing the S-10 diesel and soy biodiesels in the proportions 20%, 50% and 100%, still being evaluated emissions gases from burning these fuels. The results of the data collected for the power parameters, torque, fuel consumption, as well as the gases in the number of smoke, soot and pollution levels were compared between fuels in different rotational levels, according to the standard of ISO 1585 observed. It was found that with the use of B-20, the results regarding the torque and power were similar to diesel fuel, but with an increase of fuel consumption. Now the concentrations for B-50 and B-100, these had, in ascending order, performance drop with increased fuel consumption. However, B-100 demonstrated to be the lowest emitting pollutants from fuel observed in the tests. Post the results, one can formalize conclusions that the diesel showed better performance as the parameters analyzed, however the B-20 is an option to replace the diesel S-10, as presented similar to diesel performance with the advantage of being a fuel renewable and that tends to reduce the environmental impacts. On the other hand, the B-100 although it was observed the lowest performance among other fuels, but to be 100% renewable, its low greenhouse gas emissions, improving the quality of life, especially in large urban centers and, thus, fuel potential to replace diesel for use in diesel engines. However, the association with other sources of renewable fuels and minor modifications to the engine can contribute to better performance, yet maintain low emissions of gases, presented as suggestions for further work.

Keywords: Biofuels, Performance Curves, Particulate Matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de artigos sobre “BIODIESEL”	23
Figura 2 - Potência desenvolvida para B-05, B-20 e B-100 entre 1200 rpm e 2100 rpm	24
Figura 3 - Torque desenvolvido para B-05, B-20 e B-100 entre 1200 rpm e 2100 rpm	25
Figura 4 - Torque desenvolvido para os combustíveis nas rotações 1200 rpm e 1300 rpm.....	26
Figura 5 - Variação da Viscosidade.....	28
Figura 6 - Variação da Densidade	30
Figura 7 - Diagrama P-V	35
Figura 8 - Ciclos do Motor Diesel	35
Figura 9 - Variação do torque e potência em função da rotação do motor.....	40
Figura 10 - Curva de Potência para Diesel e B-100	45
Figura 11 - Curva de Torque para Diesel e B-100	45
Figura 12 - Curva de Consumo para Diesel e B-100.....	46
Figura 13 - Curva de Potência para Diesel e B-20	47
Figura 14 - Curvas de Torque para Diesel e B20	47
Figura 15 - Curvas de Consumo para Diesel e B20	48
Figura 16 - Granol Indústria Comércio e exportação S/A.....	53
Figura 17 - Acoplamento Motor-Dinamômetro	54
Figura 18 - Eixo-acoplamentos do Motor-dinamômetro	54
Figura 19 - Motor a Diesel	55
Figura 20 - Pré-bomba e bomba Injetora de Combustível	56
Figura 21- Dinamômetro AVL <i>Schneider Electric Drives</i>	57
Figura 22 - Dinamômetro AVL <i>Schneider Electric Drives</i> (abertura de tampa)	57
Figura 23 - Medidor de Fuligem “AVL SMOKE METER”	58
Figura 24 - Medidor de Fuligem “AVL SMOKE METER” (em aberto)	59
Figura 25 - Sistema de Medição de fluxo de Massa e de Controle de Temperatura.....	60
Figura 26 - Torre de Resfriamento	61
Figura 27 - Refrigeração do Motor e Válvula Termostática	62
Figura 28 - Válvula Termostática.....	63
Figura 29 - Sistema de Refrigeração (Refrigeração Ar/Água)	64
Figura 30 - Mecalor AVL.....	64
Figura 31 - Tubulação de Ar proveniente do Mecalor	65
Figura 32 - Tubulação de Ar proveniente do Mecalor	65

Figura 33 - Reservatório de Combustíveis a Diesel	66
Figura 34 - Sistema de Alimentação a Biodiesel.....	67
Figura 35 - Sistema de Alimentação a Biodiesel.....	67
Figura 36 - Sistema de Alimentação a Biodiesel.....	68
Figura 37 - Mesa de Controle Motor-Dinamômetro	69
Figura 38 - Interface - <i>Software</i> Puma AVL Open 1.2.1.....	69
Figura 39 - Visor de Comando de Rotação, Torque e Carga do Motor-Dinamômetro.....	70
Figura 40 - Visor de Comando de Rotação, Torque e Carga do Motor-Dinamômetro.....	70
Figura 41 - Potência Média entre combustíveis na triplicata das Amostras.....	75
Figura 42 - Torque Médio entre combustíveis na triplicata das Amostras.....	77
Figura 43 - Consumo Médio entre combustíveis na triplicata das Amostras.....	80
Figura 44 - Número de Fumaça do Filtro	83
Figura 45 - Fuligem	84
Figura 46 - Nível de Poluição.....	85
Figura 47 - Curva de Tendência para Potência Média (Diesel)	91
Figura 48 - Curva de Tendência para Potência Média (B-20).....	91
Figura 49 - Curva de Tendência para Potência Média (B-50).....	92
Figura 50 - Curva de Tendência para Potência Média (B-100).....	92
Figura 51 - Curva de Tendência para Torque Médio (Diesel)	96
Figura 52 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-20).....	96
Figura 53 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-50).....	97
Figura 54 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-100).....	97
Figura 55 - Curva de Tendência para Consumo Médio (Diesel).....	101
Figura 56 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-20).....	102
Figura 57 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-50).....	102
Figura 58 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-100).....	103
Figura 59 - Análise do Número de Cetano para o Diesel (INMETRO, 2016).....	113
Figura 60 - Análise do Número de Cetano para o B-20 (INMETRO, 2016)	114
Figura 61 - Análise do Número de Cetano para o B-30 (INMETRO, 2016)	115
Figura 62 - Análise do Ponto de Fulgor para o B-100 (INMETRO, 2016).....	116
Figura 63 - Análise Propriedades para o B-100 (GRANOL, 2016)	117
Figura 64 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R1	140
Figura 65 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R2	140

Figura 66 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R3	141
Figura 67 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R1	141
Figura 68 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R2.....	142
Figura 69 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R3.....	142
Figura 70 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R1	143
Figura 71 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R2.....	143
Figura 72 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R3.....	144
Figura 73 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R1	144
Figura 74 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R2.....	145
Figura 75 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R3.....	145
Figura 76 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R1	146
Figura 77 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R2.....	146
Figura 78 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R3.....	147
Figura 79 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R1	147
Figura 80 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R2.....	148
Figura 81 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R3	148
Figura 82 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R1	149
Figura 83 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R2.....	149
Figura 84 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R3	150
Figura 85 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R1	150
Figura 86 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R2.....	151
Figura 87 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R3	151
Figura 88 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R1	152
Figura 89 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R2.....	152
Figura 90 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R3.....	153
Figura 91 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R1	153
Figura 92 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R2.....	154
Figura 93 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R3	154
Figura 94 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R1	155
Figura 95 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R2.....	155
Figura 96 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R3	156
Figura 97 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R1	156
Figura 98 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R2.....	157

Figura 99 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R3 157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos Combustíveis Diesel S-10 e S-500.....	20
Tabela 2 - Características do Dinamômetro	58
Tabela 3 - Características do AVL <i>Smoke Meter</i> 415 S para medição de fumaça e fuligem...	60
Tabela 4 - Desempenho Máximo para os Combustíveis na triplicata das Amostras	72
Tabela 5 - Potência Média (kW) dos Combustíveis na triplicata das Amostras	74
Tabela 6 - Torque Médio dos Combustíveis na triplicata das Amostras.....	76
Tabela 7 - Consumo Médio de Combustíveis na triplicata das Amostras.....	79
Tabela 8 - Número de Fumaça Médio na Triplicata das Amostras	82
Tabela 9 - Fuligem Média na Triplicata das Amostras	83
Tabela 10 - Nível de Poluição Média na Triplicata das Amostras	85
Tabela 11 - Opacidade (Número de Fumaça) e Fuligem (Material Particulado)	86
Tabela 12 - Opacidade (Número de Fumaça) e Nível de Poluição	87
Tabela 13 - Potência dos Combustíveis na Triplicata das Amostras.....	88
Tabela 14 - Média das Potências para Combustíveis (2300 rpm)	89
Tabela 15 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (2300 rpm)	89
Tabela 16 - Potência dos Combustíveis na Triplicata das Amostras.....	89
Tabela 17 - Média das Potências para Combustíveis (1000 rpm)	90
Tabela 18 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)	90
Tabela 19 - Torque dos Combustíveis na Triplicata das Amostras	93
Tabela 20 - Média dos Torques para Combustíveis (1800 rpm)	93
Tabela 21 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1800 rpm)	94
Tabela 22 - Torque dos Combustíveis na Triplicata das Amostras.....	95
Tabela 23 Média dos Torques para Combustíveis (1000 rpm)	95
Tabela 24 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)	95
Tabela 25 - Consumo de Combustíveis na Triplicata das Amostras.....	98
Tabela 26 - Média dos Consumos de Combustíveis (1000 rpm)	99
Tabela 27 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)	99
Tabela 28 - Consumo de Combustíveis na Triplicata das Amostras.....	99
Tabela 29 - Média dos Consumos de Combustíveis (2300 rpm)	100
Tabela 30 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (2300 rpm)	100
Tabela 31 - Dados do Diesel da Amostra 1 (INMETRO, 2016).....	119

Tabela 32 - Dados do Diesel da Amostra 2 (INMETRO, 2016)	120
Tabela 33 - Dados do Diesel da Amostra 3 (INMETRO, 2016)	121
Tabela 34 - Dados do B-20 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)	122
Tabela 35 - Dados do B-20 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)	123
Tabela 36 - Dados do B-20 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)	124
Tabela 37 - Dados do B-50 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)	125
Tabela 38 - Dados do B-50 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)	126
Tabela 39 - Dados do B-50 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)	127
Tabela 40 - Dados do B-100 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)	128
Tabela 41 - Dados do B-100 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)	129
Tabela 42 - Dados do B-100 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)	130
Tabela 43 - Resultado das Curvas de Desempenho para o Diesel.....	132
Tabela 44 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-20.....	133
Tabela 45 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-50.....	134
Tabela 46 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-100.....	135
Tabela 47 - Resultado das Curvas de Potência.....	136
Tabela 48 - Resultado das Curvas de Torque	137
Tabela 49 - Resultado das Curvas de Consumo de Combustível	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: Área do pistão

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEM: Agência de Metrologia, Avaliação da Conformidade, Inovação e Tecnologia do TO

ANP: Agência Nacional do Petróleo

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

Bar: Pressão Barométrica

Bx: Biodiesel em x% de mistura ao diesel

CFR: *Cooperative Fuel Research*

CI: Injeção por Compressão

CO: Monóxido de Carbono

CO₂: Dióxido de Carbono

d: *Densidade do Combustível*

DCN: *Higher Cetane Numbers*

d_F/dt: Taxa de variação volumétrica de combustível no tanque

DIN: *Deutsches Institut für Normung*

dm_F/dt: Taxa de variação de massa de combustível no tanque

dm_F: Taxa de escoamento de massa de combustível no tanque

EGR: *Exhaust Gas Recirculation*

F: Força de expansão sobre o pistão

FAO: *Food and Agriculture Organization Of the United Nations*

FSN: *Filter Smoke Number*

g/kWh: Consumo específico de combustível

GRANOL: Granol Indústria, Comércio e Exportação S/A

H₂SO₄: Ácido Sulfúrico

HC: Hidrocarbonetos

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO: *International Organization for Standardization*

kg/h: Consumo de combustível em quilo por hora

kgf: Força do motor em quilograma-força

kW: Potência do motor em quilo Watt

L: Curso do pistão

LAMOC: Laboratório de Motores e Combustíveis

m: massa de combustível

mg/m³: massa de combustível em miligramas por metro cúbico

MP: *Particulate Matter*

MPa: Mega Pascal

n: Número de cilindros

NBR: Norma Brasileira

NC: Número de Cetano

Nm: Torque em Newton.metro

NOx: Óxidos de Nitrogênio

°C: Temperatura em graus Celsius

P: Pressão de expansão

P_c: *Poder Calorífico*

PCI: Poder Calorífico Inferior

P_i: Potência Indicada

PMI: Ponto Morto Inferior

PMS: Ponto Morto Superior

POME: *Palm Oil Mill Effluent*

PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar

PRODIESEL: Programa Nacional do Biodiesel

P_T: Potência teórica

P_t: Potência total

q: *Consumo de combustível*

rpm: Velocidade do motor em rotações por minuto

S-10: Dez partes por milhão de enxofre presentes no diesel

S-500: Quinhentas partes por milhão de enxofre presentes no diesel

SEAGRO: Secretaria da Agricultura e Pecuária do Estado do Tocantins

SO₂ Dióxido de Enxofre

SOC: *Start Of Combustion*

T_q: Torque do motor

UHC: *Unburned Hydrocarbon Emissions*

V: Volume do cilindro

W: Watts, unidade de medida de potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	Diesel.....	19
3.2	Biodiesel.....	20
3.3	Propriedades Físico-químicas.....	26
3.3.1	Viscosidade.....	27
3.3.2	Massa Específica	29
3.3.3	Teor de Enxofre	30
3.3.4	Poder Calorífico.....	31
3.3.5	Número de Cetano	32
3.4	Motores a Combustão Interna – Ciclo Diesel	34
3.4.1	Dinamômetro	37
3.4.2	Torque.....	37
3.4.3	Potência	38
3.5	Curvas Características dos Motores	39
3.6	Desempenho de um Motor Ciclo Diesel	41
3.7	Ensaio em Motores Térmicos	42
3.8	Emissões em Motores a Diesel.....	48
4	MATERIAIS E MÉTODOS	50
4.1	Metodologia do Experimento	50
4.2	Materiais	52

4.2.1	Combustíveis	53
4.2.2	Equipamentos	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1	Análise do Desempenho Máximo do Motor	71
5.2	Potência Média das Curvas para Determinados Combustíveis	73
5.3	Torque Médio das Curvas para Determinados Combustíveis.....	75
5.4	Consumo Médio das Curvas para Determinados Combustíveis	78
5.5	Análise dos Gases de Exaustão	81
5.5.1	FSN – Número de Fumaça do Filtro	82
5.5.2	Fuligem – Material Particulado	83
5.5.3	Nível de Poluição	84
5.6	Dados Estatísticos – Análise da Variância	88
5.6.1	Potência nas Rotações 2300 rpm e 1000 rpm.....	88
5.6.2	Torque nas Rotações 1800 rpm e 1000 rpm	93
5.6.3	Consumo nas Rotações 1000 rpm e 2300 rpm	98
6	CONCLUSÕES	105
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	108
	APÊNDICE I – ANÁLISE DOS COMBUSTÍVEIS USADOS PARA AS AMOSTRAS	112
	APÊNDICE II – PLANILHAS DE DADOS DAS CURVAS DE DESEMPENHO	118
	APÊNDICE III – RESUMO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO DOS COMBUSTÍVEIS EM ESTUDO	131

1 INTRODUÇÃO

A criação do primeiro modelo do motor a diesel que funcionou de forma eficiente data de 10 de agosto de 1893. Foi criado por Rudolf C. Karl Diesel, em Augsburg, Alemanha, e por isso recebeu este nome. Alguns anos depois foi apresentado na feira Mundial de Paris, França (BIODIESELBR, 2016).

Parente (2003), faz referência do uso de óleo diesel em motores citando que, cerca de 25 anos após a descoberta do petróleo, Rudolf Diesel concebeu o motor de ignição por compressão, que mais tarde foi denominado, em sua homenagem, de motor diesel.

Este motor a combustão interna gerava aumento de temperatura provocado pela compressão do ar na câmara de combustão, o que lhe conferia boa taxa de compressão com o aproveitamento da energia da queima do combustível, tendo como fonte óleo de amendoim.

Segundo Knothe *et al.* (2005), durante a Exposição de Paris em 1900, um pequeno motor diesel foi operado por *arachide* (amendoim). O motor foi construído para o petróleo e utilizado para o óleo vegetal, sem qualquer alteração que, neste caso, as experiências de consumo resultaram no aproveitamento do calor idêntico ao petróleo. A ideia era utilizar como combustível o óleo vegetal de amendoim, já que os agricultores tinham disponibilizam em suas plantações a cultura desta oleaginosa.

No entanto, a produtividade agrícola de amendoim era baixa, desestimulando o seu uso em motores, em substituição ao óleo mineral proveniente do petróleo e que por ser mais barato e disponível em grandes quantidades, para suprir as necessidades da época.

Com isso, segundo Knothe *et al.* (2005), o uso de óleo vegetal foi muito utilizado nos meados do século XX, mas com o advento da 2ª Segunda Guerra Mundial, houve a necessidade de grandes quantidades de combustíveis para alimentar as máquinas de guerra e agrícolas, momento oportuno no surgimento da indústria do petróleo com o “Óleo Diesel”.

Porém, nos anos 70, os conflitos mundiais fizeram com que o preço do barril de petróleo se elevasse e a com isso houve a retomada dos testes com óleo vegetal.

Segundo Parente (2003), o ano de 1973 representou um verdadeiro marco na história energética do Planeta, pois o homem passou a valorizar as energias, posicionando-as em destaque com relação aos bens de sua convivência.

Já nos anos 80, o Brasil lança o programa PRODIESEL, sendo 300 mil litros de biodiesel foram destinados para diversos fabricantes de veículos a diesel a transitarem pelo país, para realizarem testes de desempenho com o uso de biodiesel puro (PARENTE, 2003, p. 9).

E, nos anos 90, surge o conceito de sustentabilidade e atualmente com o agravamento do

efeito estufa pelo crescente consumo de combustíveis fósseis faz com que haja investimentos em pesquisa e produção de biodiesel e sua mistura ao diesel em diversas concentrações foram estudadas em motores a diesel.

A mistura deste biodiesel ao diesel tem apresentado resultados surpreendentes tanto no funcionamento em motores quanto à melhoria da qualidade do ar, com a diminuição do lançamento de enxofre, altamente danoso a seres vivos (PARENTE, p.45, 2003).

Deste modo, a agricultura passa a ser vista como o celeiro de matéria-prima para a produção de biodiesel, principalmente com a cultura da soja, caso do Brasil dentre outros países.

Para FAO (2013), o potencial e a rápida formação do setor de biodiesel, com o crescimento das áreas destinadas às culturas energéticas, com ênfase às destinadas a extração de óleo vegetal e produção de biodiesel (RIGOTTE, 2014 p. 1-2).

O biodiesel é, portanto, um combustível renovável que além de amenizar os efeitos dos gases da queima, podendo ser utilizado nos motores a diesel sem muitas modificações e com o uso de um turbo-compressor em conjunto com *intercooler* proporcionam o aumento de desempenho, a redução de fumaça e a diminuição do consumo de combustível.

O turbocompressor é utilizado para aperfeiçoar a combustão e a presença deste equipamento promove decaimento do lançamento de gases poluentes no meio ambiente, melhora o desempenho dos motores e reduz o consumo de combustível (NEVES, 2013, p.352).

A combustão é o processo da queima do combustível na presença de oxigênio e calor e, teoricamente pode produzir uma combustão perfeita, desde que o oxigênio presente na mistura se combine perfeitamente com o fluido combustível, o que é impossível de ser atingido, mas podendo ser otimizado com o excesso de oxigênio requerido na combustão.

Kumar *et al.* (2015), este adicional de oxigênio nas câmaras de combustão dos motores, conforme disseram, fazem com que as partículas poluentes emitidas pela queima de combustíveis, se tornam menores pelo aumento da disponibilidade de oxigênio na combustão e o uso de biodiesel reduz a massa de partículas, pelo fato de ser altamente oxigenado.

Ogunkoya *et al.* (2015), afirmaram que as elevadas emissões de HC se atribuem à baixa massa de oxigênio na mistura com o combustível, o que gera combustão incompleta.

Dessa forma, o presente estudo visa avaliar o desempenho de um motor a diesel agrícola quanto a potência, torque, consumo de combustível e as emissões avaliando o número de fumaça (FSN), a fuligem ou material particulado e o nível de poluição gerados com o uso do diesel S-10 (7% de biodiesel), o biodiesel de soja puro e suas misturas com o diesel.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as curvas de desempenho de um motor do ciclo Diesel utilizando diesel e biodiesel B-20, B-50 e B-100, bem como as emissões geradas pela queima destes combustíveis.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar as curvas de potência em função da rotação do motor;
- b) Avaliar as curvas de torque em função da rotação do motor;
- c) Avaliar as curvas de consumo de combustível em função da rotação do motor;
- d) Avaliar as emissões quanto ao Número de Fumaça (FSN);
- e) Avaliar as emissões quanto aos Materiais Particulados (Fuligem);
- f) Avaliar as emissões quanto aos Níveis de Poluição;
- g) Avaliar o combustível de melhor desempenho;
- h) Avaliar o combustível de menor impacto ambiental.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Diesel

O diesel é um combustível de óleo mineral proveniente do óleo cru do petróleo e que possui enxofre, contribuindo para a lubrificação dos componentes internos do motor a diesel e que participam da queima deste combustível. Contudo, bastante prejudicial ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos, principalmente às populações dos grandes centros urbanos.

Segundo Gonçalves (2016), o diesel ou simplesmente gasóleo é um derivado da destilação de petróleo e é constituído por uma mistura de hidrocarbonetos. É originado através da destilação fracionada do petróleo bruto, sendo composto por uma mistura de diversos hidrocarbonetos, mas também de outras substâncias em quantidades inferiores, como por exemplo, oxigênio, enxofre, azoto entre outros.

Outras emissões, como é o caso do azoto ou também conhecido por NOx, que é uma reação química decorrente da presença de oxigênio no óleo combustível, mas que podem ser amenizadas com uma melhor queima do combustível na presença de cetano ou na quantidade deste, medido através do número de cetano, assim como da viscosidade do óleo contribuindo para o melhor desempenho do motor e, conseqüentemente, com menores emissões de fumaça.

Porém, outras características deste tipo de combustível são o número de cetano, ponto de névoa, viscosidade, impurezas e teor de enxofre. (CONDE, 2007, p.9). A presença de enxofre pode formar a chuva ácida quando em contato com oxigênio e água produzindo o dióxido de enxofre e o trióxido de enxofre, sendo bastante prejudicial também para os motores quando aspiram estes gases da atmosfera eliminados pelos próprios motores durante a queima.

O consumo constante e crescente deste tipo de combustível pode levar à escassez e conseqüente aumento pela dependência do petróleo mundialmente, como também crescente impacto ambiental, com a emissão excessiva de CO₂ que ocasiona o aquecimento global pelo efeito estufa, essencial para o aquecimento do planeta e manutenção da vida de diversos seres vivos, mas podendo ser prejudicial com a elevação da temperatura causada pelo excesso de gases emitidos e retidos na atmosfera terrestre.

He, (2016), cita que o consumo indiscriminado de combustíveis fósseis, como diesel levaram à degradação ambiental e escassez de energia proveniente do petróleo havendo, enfim, o aumento da demanda por esta fonte de energia esgotável e poluente. No entanto, estes combustíveis de óleo mineral podem ser misturados ao biodiesel em diversas proporções, com o intuito de amenizar os problemas de saúde pública e ambiental, bem como a dependência pelo petróleo e atualmente sendo comercializados em centros urbanos o S-10 (10 mg/kg), que contém apenas dez partes por milhão

de enxofre e para fins de agricultura podem ser utilizados o S-500 (500 mg/kg), este porém com elevada concentração de enxofre em quinhentas partes por milhão, ainda que já tenha havido consideráveis reduções destas concentrações.

Segundo a ANP N° 50, 2013, Art. 2º, o óleo diesel puro, também denominado óleo diesel tipo A, sendo produzido nas refinarias e destinado a veículos dotados de motores do ciclo diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel enquanto que o óleo diesel tipo B, é o óleo puro adicionado de biodiesel. A ANP N° 50, 2013, determina as medidas tomadas em porcentagem de volume (%) da mistura de biodiesel ao diesel que atualmente são de 7% ao óleo mineral fornecidos às bombas de combustíveis (Tabela 1).

A viscosidade deve ficar de 2,0 mm²/s a 5,0 mm²/s sendo que viscosidade muito baixa pode prejudicar a lubrificação das peças móveis do motor, enquanto que muito elevada dificulta a injeção do combustível e a sua própria queima. Já o número de cetano ou cetanagem mais elevado encontrado no S10 melhora a oxigenação e queima mais completa do combustível, com número mais elevado deste cetano nos biocombustíveis, principalmente a 100% de biodiesel.

Tabela 1- Características dos Combustíveis Diesel S-10 e S-500

Características	Unidades	Combustíveis	
		S-10	S-500
Teor de Biodiesel	%volume	7	7
Enxofre total	mg/kg	10	500
Massa Específica (20°C)	kg/m ³	815,0 a 850,0	815,0 a 865,0
Ponto de Fulgor	°C	38	38
Viscosidades Cinemática (20 °C)	mm ² /s	2,0 a 4,5	2,0 a 5,0
Número de Cetano		48	42

Adaptado de: (MANUAL TÉCNICO DIESEL - S10).

3.2 Biodiesel

As reservas de petróleo do mundo, mantido o atual nível de consumo, permitem suprir a demanda mundial por apenas algumas décadas. Aliado a isso, a emissão de gases de efeito estufa ocasionada pelo uso das fontes de energia não renováveis pode provocar mudanças climáticas globais causando grande impacto ambiental. Assim, a busca de fontes alternativas de energia, principalmente aquelas renováveis, é de fundamental importância para a preservação do planeta (Pedroza et al., 2014, p.12).

Como fonte de energia em substituição parcial ou integral ao diesel, o uso de biodiesel é uma

das alternativas e que podem diminuir, portanto, os efeitos nocivos à saúde pública e ambiental, bem como diminuindo a dependência ao petróleo, de modo que o acesso a este biocombustível possa ser mais democrático mundialmente, já pode ser produzido em diversas áreas territoriais em diversos países e por diversas fontes oleaginosas renováveis, além da soja.

Para Guarieiro et al. (2008), afirmaram que Rudolph em 1911 disse que o uso de óleos vegetais, parece um sonho do futuro, mas eu posso prever com inteira convicção que esse modo de emprego de motor diesel pode, num dado tempo, adquirir grande importância. Esta grande relevância do uso do biodiesel de forma parcial, em mistura ao diesel, ou de maneira integral em substituído o combustível fóssil, tem efeitos benéficos com a melhoria da qualidade do ar e de vida, devido a diminuição de lançamentos de gases prejudiciais presentes no diesel.

Publicações relativas ao desenvolvimento tecnológico do biodiesel têm crescido exponencialmente nos últimos anos, o que é atribuído à busca de novas fontes de energia renováveis pela humanidade (QUINTELLA *et al.*, 2011). Provenientes de várias fontes de matéria-prima, extraídas pela produção agrícola em larga escala ou familiar, bem como pelo processo de

extrativismo vegetal, e o biocombustível conseguido por várias condições de processamento, como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação.

Neste sentido, vários pesquisadores pelo mundo investiram em pesquisas em várias formas de energias extraídas da biomassa, entre elas as fontes oleaginosas, como a soja, na produção de biodiesel (B-100) e suas proporções (Bx) misturados com o diesel puro para uso em motores a do ciclo diesel.

Diante disto, surge no Brasil o Programa Nacional do Biodiesel (PNB), que tem por objetivo viabilizar a aditivação do diesel com éster de óleos vegetais em valores, a longo prazo, de até 20%. Com a adição obrigatória de apenas 2% de biodiesel ao diesel (B2) em 2008, pesquisas revelara uma diminuição no consumo do diesel equivalente a 800 milhões de litros por ano, gerando desta forma, uma economia anual de US\$ 160 milhões. Já em 2014, esse percentual subiu para 7% e está previsto para até 2017 o percentual de mistura de biodiesel no diesel seja de 8%, até 2018 para 9% e até 2019 de 10% para uso em motores diesel.

O uso de biodiesel em motores a diesel em diversas concentrações e de diferentes fontes de oleaginosas que, no caso do Brasil, sua principal fonte o óleo de soja apresenta vantagens por emitir menor número de poluentes e o seu elevado número de cetano promove uma queima mais perfeita do combustível, que o torna um combustível ecologicamente perfeito e sustentável por ser biodegradável, principalmente em altas concentrações em sua mistura ao diesel.

Para Buyukkaya (2010), a maioria dos autores relataram que encontraram aumentos no consumo de combustível biodiesel em proporção ao teor de biodiesel nas misturas e à alteração do tempo de combustão devido ao número mais elevado de cetano, como é o caso do biocombustível

puro, ou seja, a 100% (B-100). Este aumento do consumo de combustível, previsto por várias pesquisas e fontes literárias, está relacionado com a elevada viscosidade e baixo poder calorífico do biodiesel, porém o seu uso promove uma combustão mais perfeita pela presença de seu elevado número de cetano em relação ao diesel, sendo observado que o uso de misturas de até 30% de biodiesel ao diesel não altera o desempenho do motor, todavia, nada impede o uso de B-100 com pequenas alterações no motor, principalmente na bomba injetora devido à elevada viscosidade do óleo vegetal.

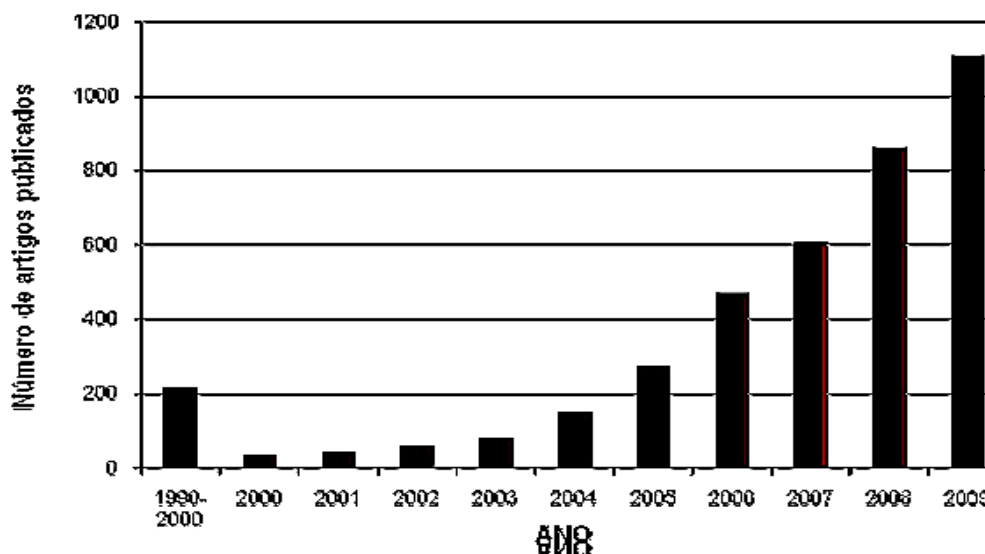
Para Ali *et al.* (2016), o mundo atualmente exige o uso de biodiesel com base principalmente em mistura com óleo diesel. Estas misturas são designadas de acordo com o biodiesel em mistura volumétrica onde B-100 representa 100% de biodiesel, B-20 indica 20% de biodiesel e B-30 indica 30% de biodiesel, de acordo com a porcentagem volumétrica de “B”.

Tomando como referência o site da *Science Direct*, pode-se observar o rápido crescimento da publicação de artigos que mencionam a palavra Biodiesel (TULCAN, 2009, p.8), referenciando o crescimento das pesquisas na área de biodiesel, com artigos sendo publicados demonstrado que entre os anos de 1990 a 2000, houve interesse na pesquisa de produção e uso de biodiesel, mas nos anos seguintes o desinteresse por esta fonte de combustível, todavia, a partir do ano de 2004 o mundo volta a investir exponencialmente em pesquisas para este fim (Figura 1).

Estas pesquisas na produção de combustíveis renováveis de fontes oleaginosas, ocorrem envolvendo o processo de transformação do óleo vegetal cru em biodiesel, para que possa adquirir características semelhantes ao diesel, através da rota etílica ou metílica com o uso desses álcoois na reação denominada de transesterificação ou esterificação.

Atualmente, a rota metanol para produção de biodiesel é mais comumente usada no Brasil e no mundo como esta reação tem maior eficiência, ocorre em tempo mais curto e temperatura mais baixa (60 °C) em comparação com outros álcoois (FREEDMAN, 1984). Neste processo de transformação, tem como produto um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras vegetal ou animal (ANP N° 45, Art. 2°, 2014).

Figura 1 - Produção de artigos sobre “BIODIESEL”



Adaptado de: (TULCAN, 2009).

Outro processo de produção de biodiesel é o craqueamento, também conhecido como pirólise, que consiste na quebra de moléculas de triglicerídeos (presentes em óleos e gorduras) em moléculas menores, conhecidas como hidrocarbonetos, não sendo considerado biodiesel pela nomenclatura internacional, embora o termo ecodiesel para combustíveis obtidos a partir da pirólise dos triglicerídeos seja biodiesel craqueado diferenciando-se, assim, do obtido pela rota da transesterificação. É oportuno salientar que a diferenciação conceitual entre biodiesel e ecodiesel, advém das vantagens ecológicas que o biodiesel, como coadjuvante em misturas, induz ao diesel mineral, uma melhoria das suas características quanto as emissões para a atmosfera dos gases resultantes da combustão (PARENTE, 2003, p.13).

Como fonte de oleaginosas na produção do biodiesel no Brasil, para compor o ecodiesel, a soja tem se destacado tradicionalmente como matéria prima devido às variedades condicionadas em território nacional. Neste cenário, estima-se que até 2020/2021, a área plantada no Brasil dedicado a soja terá expandido para 30 milhões de ha. (CONAB, 2011).

Outras fontes oleaginosas são utilizadas na produção de biodiesel e dependem do clima e da porcentagem da mistura ao diesel, pois em clima mais frio, o qual pode elevar a viscosidade do óleo combustível comprometendo o desempenho do motor a diesel, principalmente em grandes concentrações da mistura, ou ainda, mais delicado com o uso de biodiesel puro.

Contudo, He, (2016), afirma que nos EUA o uso de biodiesel de soja em mistura de 20% a 80% ao diesel proporciona uma boa resposta do motor em ambientes frio, melhora do desempenho e a diminuição de emissões de poluentes sem modificações dos motores a diesel.

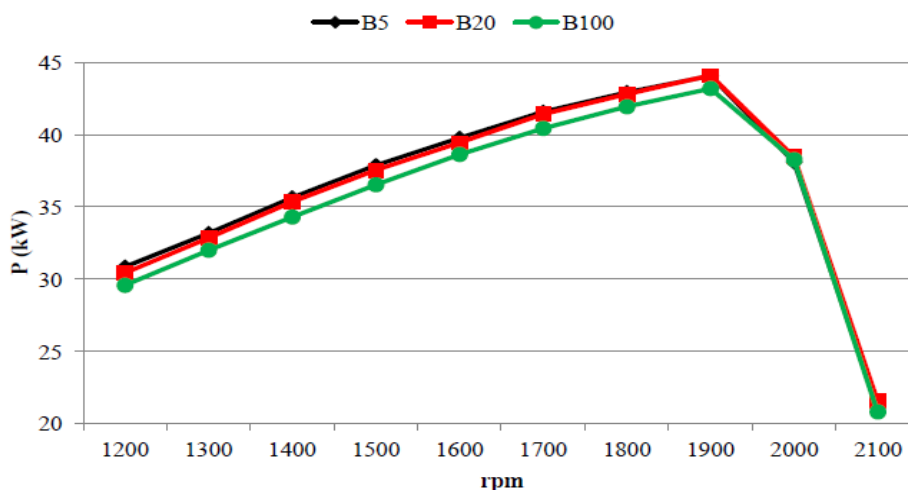
Para Gonçalves (2016), o uso do biodiesel tem vantagens e desvantagens. Começando pelas vantagens, este tem um índice de cetano superior ao gasóleo, propriedades lubrificantes, quase não tem enxofre e o dióxido de carbono produzido é do ciclo de carbono curto, isto é, essas emissões não são contabilizadas para o efeito estufa. Tem como contra, o processo de fabrico ser ineficiente, uma vez que durante a produção existem perdas de cerca de 20% do poder calorífico do óleo inicial e cerca de 10% menor do que o do gasóleo, o custo final é superior ao do gasóleo e este tipo de combustível deteriora polímeros e borrachas.

Devido ao maior número de cetano, a combustão dá-se mais cedo fazendo com que a pressão de combustão se eleve rapidamente, originando temperatura de combustão mais elevadas e com isso uma maior produção de NO_x . Este inconveniente de emissões de NO_x , se deve ao adicional de O_2 ao biodiesel, principalmente em elevadas concentrações de biodiesel, embora apresente uma queima mais perfeita, tem um consumo de combustível mais elevado em relação ao diesel devido ao baixo poder calorífico do biodiesel.

O que vem a ser confirmado por Cheikh *et. al.* (2016) esta desvantagem em relação ao diesel, porém destaque ao B-100, enquanto que as misturas de Bx apresentam ligeiro aumento no consumo de combustível com o aumento da rotação, o B-100 ocorreu o contrário, há uma ligeira diminuição do consumo de combustível, com o aumento da rotação devido ao aumento da temperatura de combustão e queda da viscosidade com melhora na mistura ar/combustível.

Com relação à potência desenvolvida pelos biodieseis, pode-se verificar para os B-05, B-20 e B-100, a 5% e 20% apresentaram praticamente o mesmo desempenho entre a mínima e a máxima rotação de trabalho, enquanto que a 100% de biodiesel, houve uma pequena queda de desempenho em termos de potência (Figura 2).

Figura 2 - Potência desenvolvida para B-05, B-20 e B-100 entre 1200 rpm e 2100 rpm

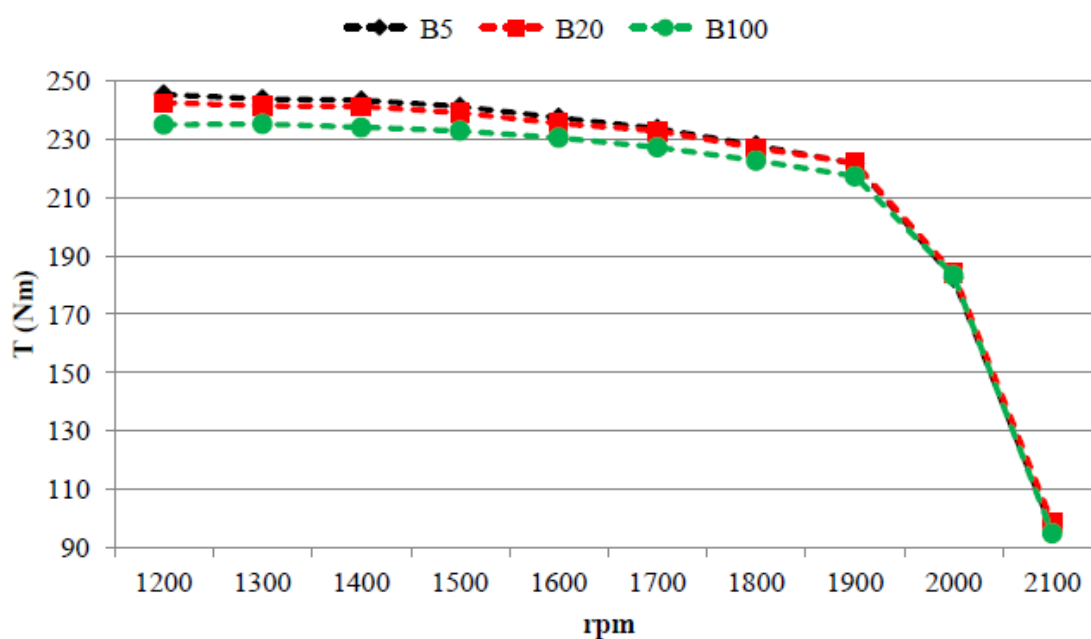


Adaptado de: (FIORESE, 2011).

Fiorese *et. al.* (2011), afirmaram que há perda de potência em função do uso de biodiesel e que a maior alteração é consumo de combustível. Em relação à força motora, muitos apresentaram elevados torques em baixas rotações, contudo sem haver uma queda considerável com o aumento rotacional do motor, exceto em giros mais elevados, para todos os biodieseis estudados B-05, B-20 e B-100, sendo que o B-20 apresentando maior torque (Figura 3).

Isto pode ser comprovado em diversas literaturas, que o uso de 20% de biodiesel na mistura com o diesel pode proporcionar um desempenho tanto quanto igual ou melhor que o diesel e com melhor desempenho em relação às demais misturas Bx ao diesel.

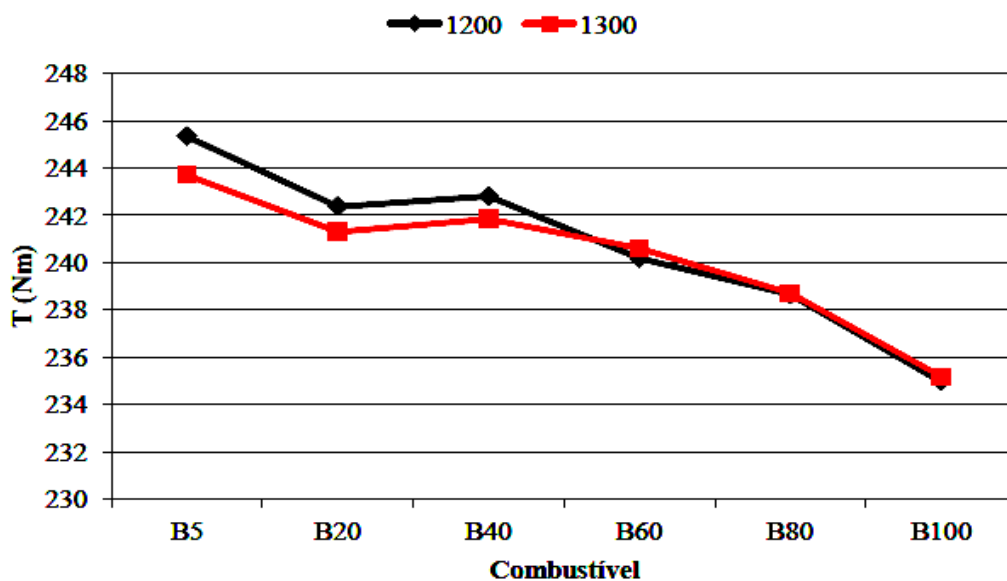
Figura 3 - Torque desenvolvido para B-05, B-20 e B-100 entre 1200 rpm e 2100 rpm



Adaptado de: (FIORESE, 2011).

Quanto ao torque desenvolvido pelos biodieseis, há uma ligeira diminuição de força com o aumento da concentração de mistura com o diesel. No entanto, em baixas rotações o motor apresentou melhor torque nas misturas de até 40% de biodiesel e em concentrações superiores como é o caso de 50% a 100% de biodiesel, o motor desempenhou torques mais semelhantes entre as 1200 rpm e 1300 rpm, rotações baixas analisadas (Figura 4).

Figura 4 - Torque desenvolvido para os combustíveis nas rotações 1200 rpm e 1300 rpm



Adaptado de: (FIORESE, 2011).

Dessa forma, observaram que na maioria dos catálogos dos tratores comercializados no mercado nacional, a rotação de torque máximo está informada como sendo a 1400 rpm, salvo alguns motores que podem apresentar no catálogo, a rotação de torque máximo em 1500 ou 1600 rpm. No entanto, em concentrações acima de 20%, como é o caso para os B-60 e B-80 tiveram uma maior estabilidade do torque nas duas menores rotações.

3.3 Propriedades Físico-químicas

As principais características físicas para um bom funcionamento de um motor de ignição por compressão, enquanto ao desempenho de potência, torque e consumo de combustíveis, ainda influenciando nas emissões da queima dos combustíveis destacando-se a viscosidade, a densidade ou massa específica, o poder calorífico e o número de cetano dentre outras.

Shehata *et al.* (2015), as propriedades físicas do biodiesel, tais como viscosidade, a volatilidade e ponto de inflamação influenciam os processos que ocorrem no interior do cilindro do motor, como a atomização do combustível, a sua evaporação, mistura com o ar e conseqüente queima refletindo no desempenho do motor. De fato, combustíveis com elevada viscosidade interfere na mistura e conseqüente queima, pois tornam-se os diâmetros das gotículas mais elevadas dificultando sua mistura mais completa com o oxigênio, a densidade elevada promove maior quantidade de massa volumétrica de combustível presente para um mesmo volume de combustível, o que se traduz em maior consumo de combustível; porém o óleo vegetal, após o processo de reação de transformação em biodiesel, proporciona a este características semelhantes ao diesel, com

diminuição de sua viscosidade, ainda que haja que do poder calorífico. As propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independentemente de sua origem, assemelham-se as do óleo diesel mineral, significando que não é necessário qualquer adaptação ou regulagem no sistema de injeção dos motores (PARENTE, p.15, 2003).

Contudo, as propriedades físico-químicas do biodiesel, estas dependem das proporções ocorridas na mistura com o diesel puro, ainda, de qual fonte da energética, ou seja, da variedade de inúmeras oleaginosas. O biodiesel utilizado na pesquisa tem como fonte o óleo vegetal de soja transesterificado pela rota metílica e fornecido pela GRANOL S/A e suas propriedades podem ser verificadas junto ao Apêndice I (Figura 63).

3.3.1 Viscosidade

Uma das características dos óleos combustíveis é apresentar determinado grau de viscosidade, sendo esta sua capacidade de escoamento. O biodiesel possui sua medida viscosidade superior ao diesel e seu valor depende da fonte oleaginosa gera o biocombustível, assim como da temperatura com que este óleo trabalha no motor. A viscosidade cinemática de um óleo é uma característica importante, pois influencia diretamente no no sistema de bombeamento e injeção de combustível e no atraso de ignição que influenciarão combustão.

Para Alptekin *et al.* (2008), a viscosidade de um combustível de motor é uma das propriedades mais importantes, uma vez que desempenha um papel dominante no processo de pulverização do combustível, a formação da mistura e de combustão. Além disso, a elevada viscosidade pode interferir numa boa queima do combustível, pois resulta em diâmetros maiores das gotículas de pulverização realizada pelos bicos injetores, levando a uma mistura com o oxigênio de forma não completa produzindo NOx, altamente prejudicial à saúde.

A dificuldade de bombeamento do combustível, com consequente aumento de gasto de energia para provocar o escoamento do fluido combustível até os bicos injetores, devido à alta viscosidade cinemática característica dos biodieseis e suas misturas ao diesel, principalmente o biodiesel puro (100%), comprometem a eficiência da combustão por baixa atomização.

Para Knothe *et al.* (2005), a viscosidade, que é uma medida da resistência ao fluxo de um líquido, devido a fricção interna de uma parte de um fluido em movimento em relação a outra, afetam a atomização de combustível após injeção na câmara de combustão e, assim, em última análise, a formação de depósitos no motor e com gasto excessivo de combustível. Por outro lado, fluido de baixa viscosidade pode provocar redução da vida útil do motor a diesel, pois exerce pouca lubrificação das peças moveis e, ainda, compromete a sua penetração na câmara de combustão tornando a mistura pobre e consequente perda de potência do motor.

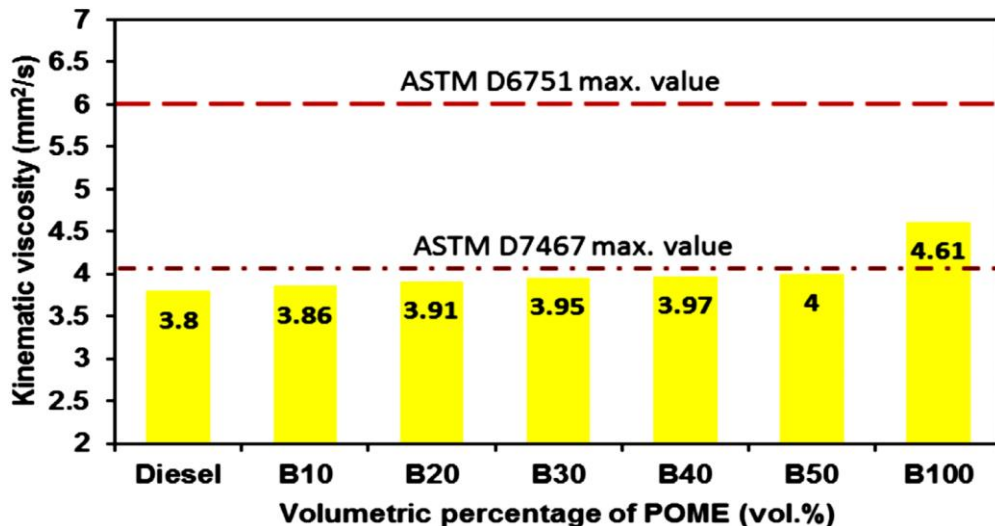
Ali *et al.* (2016), também está de acordo quando afirma que o biodiesel possuir alta viscosidade cinemática, pode provocar uma baixa atomização da queima do combustível, depósitos

nas paredes internas das câmaras de combustão e provocar desgastes prematuros nas peças do motor, sobrecarga da bomba injetora e demais componentes de alimentação. Por definição, a viscosidade cinemática é a relação entre a viscosidade dinâmica medida em quilo por metro por segundo ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$) e a massa específica do combustível medida em quilo por metro cúbico (kg/m^3), resultando na unidade milímetro quadrado por segundo (mm^2/s).

A viscosidade cinemática de um combustível pode ser medida pelo instrumento denominado viscosímetro e que mede a razão da viscosidade pela densidade do fluido combustível, dado em mm^2/s , sob influência da temperatura e do tipo de combustível, verificando sua aderência e o tempo de permanência sob uma superfície.

Podendo ser representada pelos eixos *kinematic Viscosity* (viscosidade cinemática a 20°C) medida em milímetros quadrados por segundo (mm^2/s) em função da *Volumetric Percentage of POME* (Porcentagem Volumétrica de Óleo de Palma), sendo POME (*Palm Oil Mill Effluent*) sigla referente a efluente ou fluido líquido fabricado de óleo de Palma. A viscosidade cinemática mínima equivale a $2 \text{ mm}^2/\text{s}$ e a máxima medida $4,61 \text{ mm}^2/\text{s}$, segundo a norma ASTM D7467 e que pode ser observado que até 30 % (B30) de biodiesel a viscosidade medida $3,97 \text{ mm}^2/\text{s}$ se assemelha ao diesel de viscosidade máxima $4,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Figura 5).

Figura 5 - Variação da Viscosidade



Adaptado de: (ALI, 2016).

Gonçalves (2016), vem a reforçar o que já foi observado por outros autores citados anteriormente, o aumento da viscosidade a precisão da injeção diminui, ou seja, o combustível injetado não é tão facilmente vaporizado, derivado do maior diâmetro das partículas, principalmente com o biodiesel, cuja elevada viscosidade e a baixas temperaturas, intensifica ainda mais a dificuldade do fluxo do combustível, com piora se estiver trabalhando a frio.

O que pode ser confirmado também por este autor, em que a temperatura de solidificação do biodiesel é superior ao diesel, o que pode provocar a formação de cristais e consequente travamento da bomba injetora, bem como entupimento do filtro de combustível (GONÇALVES, 2016, p. 32). Baixas temperaturas podem provocar o congelamento do biodiesel e forçar todo o sistema de alimentação do motor, comprometendo inclusive a vida útil da bomba injetora ou seu próprio engripamento, que é o travamento o motor interrompendo seu funcionamento.

3.3.2 Massa Específica

Massa específica de um combustível ou densidade desse fluido é uma grandeza física que tem por finalidade medir a quantidade massa de combustível ocupada por um determinado volume ocupado por este fluido. O biodiesel apresenta maior densidade volumétrica em comparação com o diesel, ou seja, possui maior quantidade de massa, em quilos, ocupada por um mesmo volume e possui sua densidade máxima a 100% biodiesel, ainda podendo variar esta massa específica nas variações, em percentuais, deste biodiesel na mistura com o diesel e ainda podendo variar a densidade de acordo com a variedade da fonte do óleo vegetal.

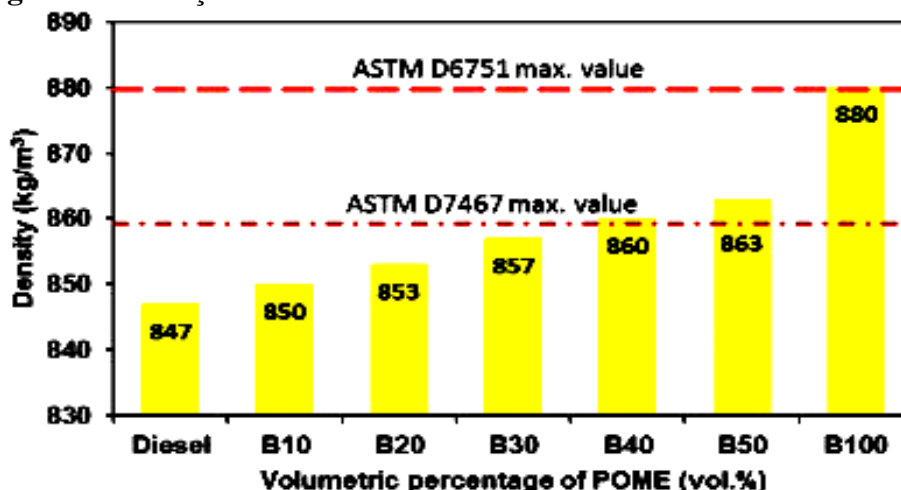
Dessa forma Ali, *et al.* (2016), afirmaram que a densidade de um combustível é um parâmetro importante para diversos aspectos no desempenho do motor diesel, sendo que o biodiesel por possuir maior densidade em relação ao diesel desenvolve maior potência, já que possui maior massa de combustível injetado e maior será este parâmetro à medida em que se aumenta a mistura de biodiesel ao diesel.

A afirmação de poder desenvolver maior potência em relação ao diesel, está no fato de consumir maior quantidade de combustível, já que o biodiesel possui maior densidade. No entanto, por desenvolver baixo poder calorífico, inclusive quando transesterificado, descompensa este desempenho fazendo com que o biodiesel apresente queda de potência tornando menor que o diesel, dependendo da concentração de mistura.

Ashraful *et al.* (2014), analisaram diesel e biodiesel e este apresenta maior densidade, independentemente da fonte da biomassa por possuir maior peso molecular e Ali *et al.* (2016), a densidade é uma importante propriedade para análise de desempenho de um motor, pois a diferença de massa entre os diferentes tipos de combustíveis influencia na injeção do combustível alterando a potência.

Ali, *et al.* (2016), apresentou medidas de densidade dos combustíveis diesel e biodiesel em diversas proporções de misturas 10%, 20%, 30%, 40% 50% ao diesel e 100% biodiesel e demonstrou os resultados pelos eixos *Density* (Densidade medida em quilograma por metro cúbico – kg/m^3) e *Volumetric Percentage of POME* (Porcentagem Volumétrica de biodiesel de Palma) (Figura 6).

Figura 6 - Variação da Densidade



Adaptado de: (ALI, 2016).

Observou-se que à medida em que se aumentou a concentração de biodiesel ao diesel, a densidade dos combustíveis avaliados também aumentou, de forma que pela norma ASTM D6751 o valor mínimo encontrado foi de 847 kg/ m³ e o máximo de 880 kg/ m³.

3.3.3 Teor de Enxofre

Apesar de ser encontrado em baixa concentração nos combustíveis fósseis, as emissões de óxidos de enxofre após a queima do diesel na câmara de combustão do motor, é o principal vilão causados dos impactos ambientais e de doenças pulmonares, além de causar sérios danos ao motor a diesel quando este aspira com o oxigênio o SO₂ para a câmara de combustão.

Este elemento químico altamente corrosivo e em contato com o oxigênio formam ligações moleculares tipo SO₂, dióxido de enxofre, que são gases altamente poluentes e, na presença de água, forma a cadeia H₂SO₄, conhecido como ácido sulfúrico, que além de ser corrosivo a peças metálicas gera a chuva ácida, prejudicial ao meio ambiente e, nos grandes centros populacionais, com aumento de doenças cardiorrespiratórias.

Knothe *et al.* (2005), vieram a confirmar as reações provocadas pelos óxidos de enxofre presente em combustível, sendo oxidado para dióxido de enxofre e trióxido de enxofre. Estes óxidos de enxofre vão reagir com vapor de água para formar o ácido sulfúrico e outros compostos de sulfato aumentando o número de partículas nos gases de escape.

Ainda, segundo os autores citados anteriormente, o biodiesel a partir de óleo de soja é muito baixo o teor de enxofre e considerado até ausente neste tipo de combustível renovável. Quanto ao diesel, para diminuir e amenizar os efeitos nocivos formados pelos óxidos de enxofre presente no combustível fóssil, realizam-se a retirada de enxofre do diesel nas refinarias e encontrados nos postos de combustíveis de centros urbanos sob a sigla S-10, ou seja, com baixa diluição de enxofre

ou o S-50 com maior quantidade de enxofre presente no óleo diesel, porém por lei, somente disponível para motores agrícolas. O inconveniente da retirada do enxofre do diesel e a sua queda de lubricidade, característica de poder lubrificante que o enxofre pode apresentar, podendo ser amenizado com aditivação de bidiesel ao diesel.

3.3.4 Poder Calorífico

O Poder Calorífico de combustíveis é definido como a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida e que pode transferida sobre os pistões na forma de trabalho exercendo força de explosão. E o calor importante para um motor a combustão interna, é o poder calorífico inferior (PCI), que determina a quantidade de calor que pode produzir 1kg de combustível, quando este entra em combustão com excesso de ar e gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada.

Ghazali et. al. (2015), veio a confirmar a definição de poder calorífico, como sendo a quantidade de calor transferido para a câmara de combustão do motor, durante a combustão, o que significa a quantidade de energia transferida aos pistões.

Ainda Nor et. al. (2015), essa qualidade de energia que está diretamente relacionada com a quantidade liberada dessa energia disponível por determinados combustíveis confirmando que o valor calorífico é uma característica muito importante do combustível, representando a quantidade de calor transferido para a câmara por meio de uma reação química, durante a combustão e indica a energia disponível nos combustíveis. Apresenta-se ainda, por outra definição, a quantidade de energia ou calor liberado por quilo de combustível durante a reação de queima.

E, quanto maior for este poder calorífico, menor é será o consumo de combustível na câmara de combustão do motor, já que para uma mesma quantidade de energia libertada, pode-se consumir menos quantidade de combustível, em massa ou volume, sendo que os combustíveis são constituídos por hidrogênio e carbono, de modo que os combustíveis compostos por hidrogênio possuem poder calorífico bem superior ao combustíveis compostos por oxigênio, como é o caso do diesel formado por hidrocarbonetos com maior quantidade de energia por quilo de combustível em relação ao combustível de origem vegetal.

O poder calorífico de um combustível pode ser medido, através da seguinte Equação 1:

$$P_c = \frac{P_T}{q \cdot d} \quad (1)$$

Onde:

$P_C \rightarrow$ Poder Calorífico ($kcal \cdot h^{-1}$ ou kJ no S.I.)

$P_T \rightarrow$ Potência Total ($kcal \cdot h^{-1}$)

$q \rightarrow$ Consumo de combustível ($L \cdot h^{-1}$)

$d \rightarrow$ Densidade do Combustível ($kg \cdot L^{-1}$)

3.3.5 Número de Cetano

O número de cetano tem por influência direta na qualidade da queima dos combustíveis e o biodiesel apresenta grande vantagem em relação ao diesel por possuir elevado número deste cetano, proporcionando uma melhor queima do combustível com tempo mais prolongado da ignição, ou seja, o tempo de atraso da ignição ocorre prematuramente.

Suh *et al.* (2016), afirmaram que a qualidade de ignição por compressão está diretamente relacionada com o número de cetano. Portanto, quanto maior o número de cetano, melhor será a queima do combustível e o biodiesel pode alcançar o valor máximo do número de cetano, $NC = 60$.

Conforme o entendimento, uma combustão de boa qualidade ocorre com uma ignição rápida seguida de uma combustão suave e completa do combustível. Um número adequado de cetano no combustível favorece o bom funcionamento do motor e sendo o número de cetano podendo variar $NC = 40 - 60$ e podendo ser acrescentado ao óleo aditivos que elevam em até 13 pontos o NC.

Para Knothe *et al.* (2005), eles afirmaram que o cetano é um descritor adimensional da qualidade de ignição de um combustível num motor diesel. Cetano com $NC = 15$ é de má qualidade e $NC = 60$ é de ótima qualidade de ignição.

Um número bom de cetano no combustível favorece a um bom funcionamento do motor e o número de cetano não pode ser confundido com índice de cetano. Este indica a qualidade de combustão dos combustíveis diesel e biodiesel, diretamente relacionado com a velocidade de ignição, que corresponde ao período entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. Uma combustão de boa qualidade ocorre com uma ignição rápida, seguida de uma combustão suave e completa do combustível.

Para Buyukkaya (2010), a maioria dos autores relataram que encontraram aumento no consumo de combustível biodiesel em proporção ao teor de biodiesel nas misturas e à alteração do tempo de combustão devido ao número mais elevado de cetano, como é o caso do biodiesel puro, ou seja, a 100% (B-100). Conforme informações anteriores, o aumento da presença em porcentagem de biodiesel ao diesel, proporciona maior consumo de combustível, pelo mesmo motivo de diminuir o seu poder calorífico e o aumento de densidade faz com que ocorra maior massa volumétrica na

câmara de combustão do motor, sendo que o adicional de oxigênio e de cetano proporcionam uma mistura ar/combustível mais completa ocasionando uma queima com menos emissões.

O elevado número de cetano apresentado pelo biodiesel, principalmente em concentrações mais elevadas, como é o caso do B-100 (100% biodiesel), resulta num melhor trabalho motor com baixíssimos níveis de emissões de gases da queima deste tipo de combustível e, ainda, por possuir maior lubrificidade em relação ao diesel faz com que o motor apresente movimentos com baixos ruídos devido ao menor atrito entre os componentes móveis e fixos do motor a diesel com uso de biodiesel.

Knothe *et al.* (2003), concluíram que o elevado índice de cetano apresenta uma vantagem significativa no desempenho do motor e emissões, sendo que os motores movidos a biodiesel trabalhem de forma mais suave e com menor ruído.

Outra afirmação, é quanto ao tempo de atraso de ignição, isto é, o tempo que passa entre a injeção de combustível para dentro do cilindro e o início da ignição. Quanto mais curto for o tempo de atraso de ignição, o quanto maior é o número de cetano e vice-versa.

Em termos operacionais, o número muito baixo ou muito elevado de cetano podem acarretar trabalho inadequado do motor, ou ainda, NC muito elevado a combustão pode ocorrer antes que ocorra a mistura completa ar/combustível, com conseqüente queima incompleta do combustível gerando elevados níveis de fumaça (KNOTHE, *et al.*, cap. 6, 2005). Por outro lado, o NC demasiadamente baixo, o tempo de atraso de ignição é mais longo, elevando a temperatura do ar na mistura gerando aquecimento excessivo do motor.

Logo, quanto maior o número de cetano presente no combustível representa melhor qualidade de ignição, o que indica menor atraso ou menor tempo da auto-ignição. Esta quantidade de cetano encontra-se em quantidade mais elevada em combustíveis provenientes de óleo vegetal, como são os biodieseis em comparação com o óleo de origem fóssil.

Kyu *et al.* (2016) afirmam que a qualidade da ignição por compressão com uso de diesel e biodiesel, está diretamente relacionada com o número adimensional de cetano. O baixo número de cetano aumenta as emissões de gases e de partículas de escape (material particulado), devido à combustão incompleta.

O número de cetano do biodiesel é maior que no diesel puro. Ao utilizar combustível com elevado número de cetano tende a aumentar a produção de energia, que resulta numa melhor qualidade na queima do combustível, o que reduz a fumaça de escape contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais e amenizando problemas de saúde pública. Este número de cetano, ainda, compensa o baixo poder calorífico dos combustíveis provenientes de origem vegetal.

3.4 Motores a Combustão Interna – Ciclo Diesel

A combustão interna de um motor, depende da relação de mistura ar/combustível admitida no interior de uma câmara ou cilindro para ser queimada e gerar calor liberado, o que provoca a expansão dos gases, instantaneamente, produzindo alta pressão sobre a cabeça dos pistões contidos nos cilindros do motor.

Esta pressão é devido à força exercida pelos gases uniformemente distribuída sobre a superfície ou área do pistão, que o desloca linearmente ao longo da camisa ou cilindro do motor. Conectado a ele, está outro componente móvel, a biela, que recebe este movimento e o transmite para o eixo vira-brequeim produzindo movimento de rotação.

Os motores de ignição por compressão (CI) são motores que admitem, para o interior do cilindro, apenas ar e o início do processo de combustão se dá por ignição espontânea, assim que o combustível é injetado no interior da massa de ar que foi altamente comprimida anteriormente e que atingiu uma temperatura superior à temperatura de ignição do combustível. Geralmente, esses motores usam como combustível o óleo diesel e os óleos vegetais (LEITE, p.12, 2006).

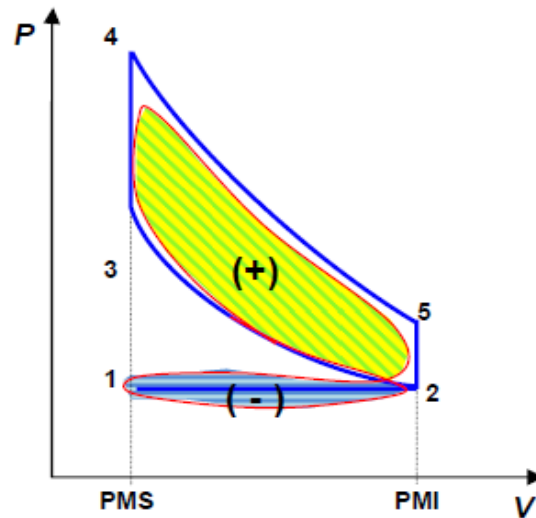
Quando a compressão interna atinge seu valor máximo a taxa de compressão, que é a relação entre o volume total (volume do cilindro + volume da câmara) e o volume da câmara de combustão pode chegar a uma taxa de 25:1. A elevada pressão interna, tem por consequência, a elevação ao extremo também da temperatura, podendo ultrapassar os 700 °C, o que dispensa o uso de vela de ignição, pois a explosão ocorre por ignição por compressão ou ignição espontânea.

Num motor quatro tempos o giro do eixo do motor ocorre em 720°, sendo que a metade, ou seja 360° (1 volta), vale para admissão + compressão e a outra para expansão + escape valendo esta afirmação para quaisquer dos pistões, ou seja, independente se o motor é de um cilindro ou mais números de cilindros presentes no bloco do motor.

É o que afirmam, Atares & Blanca (2005), o que acontece em um motor quatro tempos de ignição por compressão, através do movimento de um único pistão, confere igualmente aos demais. Os motores de quatro tempos, são assim chamados devido aos quatro ciclos que ocorrem durante o seu funcionamento ou queima do combustível, sendo o primeiro tempo (admissão), o segundo tempo (compressão), o terceiro tempo (expansão – trabalho da força de explosão) e o quarto e último tempo (escape).

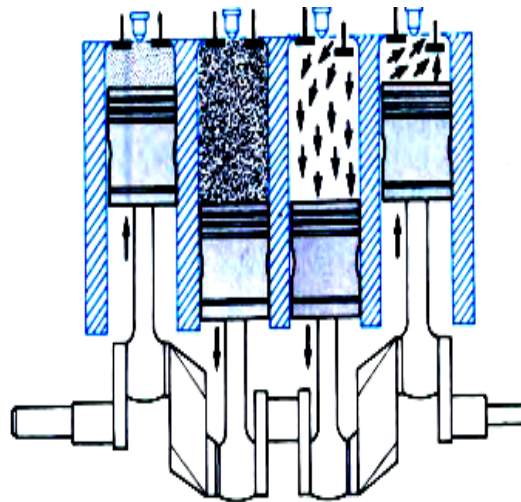
Estes ciclos podem ser analisados pelos gráficos do ciclo teórico e do ciclo real, com algumas diferenças. No ciclo teórico a aspiração e descarga são feitas à pressão constante, enquanto que no ciclo real isto não acontece por perdas de bombeamento do combustível. No ciclo teórico o calor é introduzido instantaneamente e a pressão constante, o que no real isto não ocorre devido as perdas de combustão não instantânea, dentre outras perdas no ciclo real (Figuras 7 e 8).

Figura 7 - Diagrama P-V



Adaptado de: (AIZ, 2008)

Figura 8 - Ciclos do Motor Diesel



Adaptado de: (ATARES, 2005).

1º admissão: no momento em que a válvula de admissão se abre, o pistão desloca-se da posição Ponto Morto Superior (PMS) até o Ponto Morto Inferior (PMI), admitindo ar à pressão atmosférica. Neste intervalo de tempo e deslocamento do pistão, o eixo vira-brequeim realizou um movimento angular de 180° (1/2 volta).

Oiz (2008), na linha de admissão haverá queda de pressão, pois, a causa da velocidade finita do pistão, provocará a depressão dentro do cilindro durante a admissão.

2º Compressão: neste instante, a válvula de admissão de ar se fecha e pistão movimenta-se em sentido contrário, em direção ao (PMS) comprimindo a massa de ar e, conseqüentemente havendo um aumento de pressão e temperatura interna. E, ao final do curso, estes valores alcançam de 3,43MPa a 3,92 Mpa e 500 °C a 700 °C, respectivamente. A árvore de manivela, neste momento, completa 360° (1 volta).

Oiz (2008), a linha que representa teoricamente a compressão, pode considerar-se uma transformação adiabática. Mas, na realidade, há troca de calor (resfriamento).

3º Expansão (trabalho): na posição (PMS), com compressão máxima da massa de ar, o bico injetor pulveriza uma pequena e fina quantidade de diesel, que se mistura com o ar comprimido e aquecido a alta temperatura inflamando esta mistura e produzindo a combustão. Este efeito combustivo, provoca a elevação da temperatura dos gases entre 1500 °C a 2000 °C, resultando num aumento de pressão entre 5,88 Mpa a 7,85 Mpa. A força exercida por esta pressão sobre a cabeça do pistão, empurra-o para baixo até o (PMI), executando trabalho neste curso. Este é o único momento em que o eixo do motor recebe impulso e, neste momento, novamente no (PMI), porém agora o eixo com sua 1 ½ volta.

Oiz (2008), teoricamente, ao final da compressão ocorre a ignição do motor por compressão com a injeção de combustível. Nos motores diesel, teoricamente, ocorre a pressão constante. A expansão que se produz depois da combustão pode ser considerada adiabática.

4º Escape: encerrado o percurso do trabalho, o pistão precisa expulsa toda a massa gasosa pós queima, para que o volume da câmara e do cilindro estejam limpos para receber uma nova mistura ar e combustível e repetir o ciclo. Para que isto ocorra, naturalmente, a válvula de escape se abre enquanto o pistão empurrado pelo eixo vira-brequeim, que sobe até o (PMS) expulsando todos os gases da queima para o meio ambiente completando-se, aí, o ciclo. Neste momento a árvore manivela completa 720° ou a ¼ de ½ volta do ciclo.

Oiz (2008), ao final da expansão a válvula no ciclo real abre antes e a pressão dentro do cilindro diminui até o valor da pressão atmosférica, durante o escape dos gases da queima.

Este procedimento, já prepara o cilindro do motor para que ocorra novamente os quatro ciclos, momento em que a válvula de escape fecha-se e ocorre a abertura da válvula de admissão para receber a massa de ar, no caso dos motores diesel, a ser comprimida e depois receber a injeção de combustível pulverizado (spray) e a ocorrência da explosão espontânea da mistura ar/combustível para, em seguida, realizar trabalho de força de explosão e por fim, o escape dos gases da queima.

3.4.1 Dinamômetro

Barger *et al.* (1983), o dinamômetro é um equipamento utilizado para medir potência de um motor, conhecido também como freio-motor pela aplicação de torque ou tração, dependendo de como o trabalho é aplicado ao eixo motor e pode ser denominado de dinamômetro ativo e/ou passivo, dependendo se no trabalho fornece ou absorve energia, respectivamente.

Equipamento destinado a determinar o torque e a potência efetiva de um motor de combustão interna. Basicamente se compõe de um rotor e um estator com um elemento de acoplamento entre eles, que pode ser água ou um fluxo elétrico, sendo chamado de dinamômetro hidráulico ou dinamômetro elétrico respectivamente.

3.4.2 Torque

O Torque ou momento de uma força u momento tem por finalidade medir a torção gerada por esta força aplicada a um determinado ponto de um eixo que dista do seu centro, como ocorre com o eixo vira-brequim de um motor produzindo força e variando a sua velocidade e quanto maior for esta força e da distância de aplicação da mesma, maior será o torque.

Em termos de força aplicada proveniente da explosão por ignição por compressão dos combustíveis em motores a diesel, pode ser tratado conforme o autor a seguir.

Para Wylen *et al.* (1993), o torque é definido como sendo o produto da força aplicada sobre os pistões do motor pelo braço-alavanca num valor de velocidade rotacional e este torque é alcançado no eixo vira-brequim.

Por ser uma grandeza vetorial, deve-se considerar por completo a identificação da intensidade da força aplicada, da direção e sentido da mesma, bem como do ponto onde a força está aplicada. A unidade de medida desta grandeza, no S.I., é Newton-metro (N.m)

O momento dessa força vetorial aplicada sobre a cabeça dos pistões do motor medida no Sistema Interacional (S.I.), sendo o produto da força pelo deslocamento dos pistões que geram um torque cuja intensidade depende, entre outros fatores, da qualidade da queima do combustível proporcionando maior liberação de energia. Assim o torque máximo pode desenvolvido em rotações em que há uma melhor combinação entre o escoamento de ar (comburente), injeção de combustível e qualidade de ignição e combustão, favorecendo a liberação de energia e, conseqüentemente, desenvolvendo maior força sobre o pistão, e maior torque no virabrequim do motor (AUGUSTO, *et al.* 2012, p. 663).

O torque em motores, geralmente usa-se outra unidade de medida que é m.kgf, ou seja, metro x quilograma-força. Para medir o torque nestes motores, aplica-se um torque contrário ao seu eixo vira-brequim, de modo a freá-lo.

Wylen *et al.* (1993), o torque é definido como sendo o produto da força aplicada sobre os pistões do motor pelo braço-alavanca num certo valor de velocidade rotacional.

3.4.3 Potência

a. Potência Teórica (P_T) → segundo Varella (2009), potência teórica é a potência estimada com base em propriedades físicas e consumo de combustível. Essa potência considera que toda energia térmica proveniente da combustão é convertida em energia mecânica (Equação 2).

$$PT = p_c \cdot q \cdot d \quad (2)$$

Onde:

P_T → *potência teórica (kcal.h⁻¹ ou 1,16 kW);*

p_c → *poder calorífico do combustível, kcal.kg⁻¹;*

d → *consumo de combustível, (L.h⁻¹);*

D → *densidade do combustível (kg ..L⁻¹)*

b. Potência Indicada (P_I) → segundo Varella (2009), a potência indicada é estimada a partir da pressão na expansão, características dimensionais e rotação da árvore de manivelas do motor. Após a combustão ocorre aumento da temperatura e pressão. A pressão desloca o pistão do PMS para o PMI havendo realização de trabalho mecânico. De maneira geral, a potência indicada pode ser estimada por meio da (Equação 3).

$$P_I = \frac{F \cdot L}{t} = \frac{P \cdot A \cdot L \cdot n}{t} = P \times V_{cil} \cdot \frac{1}{t} \quad (3)$$

Onde:

P_I → *potência indicada (W);*

F → *força na expansão (N);*

L → *curso do pistão (m);*

t → *tempo para realizar o ciclo (s);*

P → *pressão na expansão (Pa);*

A → *área do cilindro (m²);*

V_{cil} → *volume do cilindro (m³);*

n → *número de cilindros.*

c. Potência Efetiva (P_E) → A potência efetiva é estimada em função do torque e da rotação no volante do motor. Esses parâmetros são obtidos, segundo normas da ABNT, em equipamentos denominados dinamômetros (Equação 4).

$$P_E = 2 \cdot \pi \cdot T_o \cdot n \quad (4)$$

Onde:

P_E = potência efetiva (W);

T_o = torque na árvore de manivelas (N . m);

n = rotação na árvore de manivela (rps).

d. Consumo de Combustível (m_F) → segundo Souza (2007), o consumo de combustível é a partir do fluxo de massa de combustível introduzidos nos cilindros do motor.

$$M_F = \frac{dm_F}{dt} = \rho_F \frac{d_F}{dt} \quad (5)$$

Onde:

dm_F → taxa de escoamento de massa de combustível para o motor (kg/s)

$\frac{dm_F}{dt}$ → taxa de variação de massa de combustível no tanque (kg/s)

$\frac{d_F}{dt}$ → taxa de variação volumétrica de combustível no tanque (m³/s)

ρ → massa específica de combustível (kg/m³)

3.5 Curvas Características dos Motores

Nos ensaios de desempenho em motor ciclo diesel, por exemplo, um dos testes é o ensaio de motor à potência líquida efetiva, segundo a norma NBR ISO 1585, em que várias curvas de torque, potência e consumo são geradas em função de uma determinada faixa de rotação, que depende das características de mínima e máxima rotação do motor em estudo, bem como do número de repetições ocorridas nos ensaios, sempre começando da rotação máxima até a rotação mínima utilizando diferentes tipos de combustíveis e com o motor trabalhando com pedal a 100%.

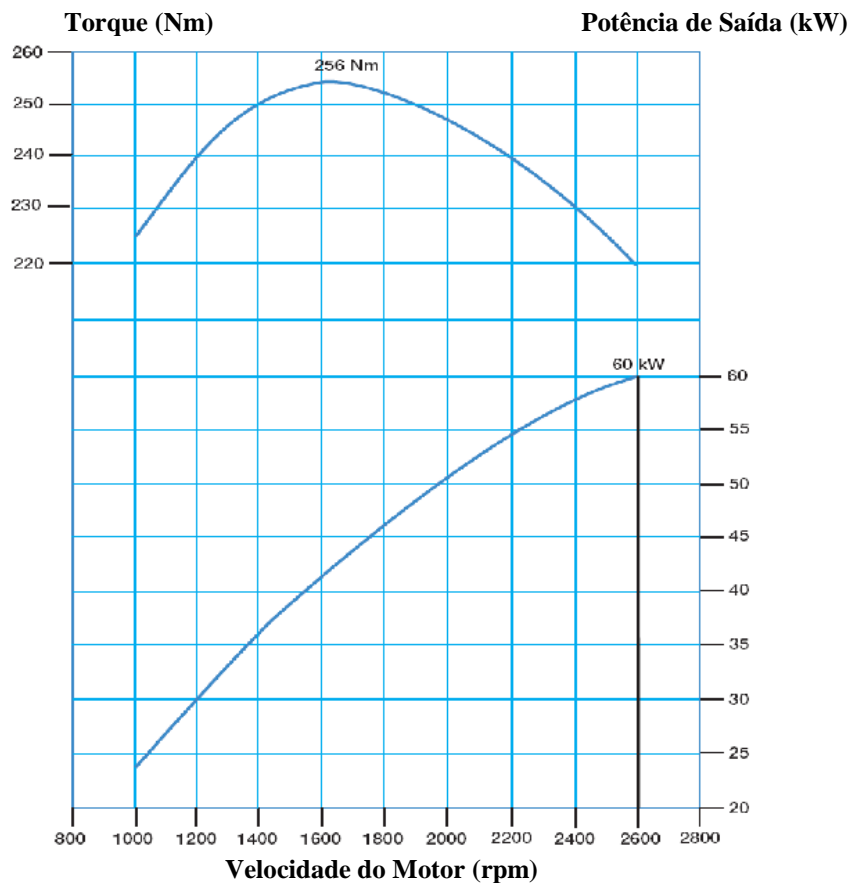
Segundo Oiz (2010), o ensaio com freio para a determinação das curvas características

consiste em colocar o pedal do acelerador ao máximo e aplica cargas que vão reduzindo a velocidade de giro até o valor mínimo. Ainda o autor, para cada velocidade de giro se registra o torque, a potência e o consumo de combustível. Pode, também, medir a potência mediante o cálculo a partir da medida do torque e da rotação, simplesmente pelo produto do torque pela rotação.

Em síntese, a figura 9 representa as curvas de potência, cuja unidade de medida é dada em quilo-Watt (kW) e torque a unidade de medida Newton-metro (N.m), cujas grandezas de desempenho em função das faixas rotacionais medidas em rotações por minuto (rpm) de um determinado motor do ciclo diesel, com efeitos de seu comportamento no desempenho, quando controlados com freio motor (dinamômetro). Para as curvas características são utilizadas para analisar o comportamento do torque e potência em função da rotação da árvore de manivelas dos motores (VARELLA, 2010).

Portanto, o gráfico desta figura vem a representar as curvas de potência e torque adquiridos por um determinado motor em função da rotação do motor, onde o desempenho máximo do motor foi na potência de 60kW na rotação de 2600 rpm gerando torque mínimo de 220 Nm. Porém adquiriu torque máximo de 256 Nm na rotação de 1600 rpm.

Figura 9 - Variação do torque e potência em função da rotação do motor.



Adaptado de: (VARELLA, 2010).

- **Curva Característica do Motor na Potência Máxima**

As curvas características de um motor a diesel, é realizada em função do regime de rotação do motor, a carga plena regulando-se a bomba injetora de combustível ou o tempo de injeção, tal que a vazão de combustível seja máxima. Para este tipo de motor, a carga está limitada não pelo enchimento em ar que sempre é máximo, mas sim pela fuligem medida no escapamento.

Segundo Oiz (2010), em primeiro lugar, para se obter a potência máxima deve-se posicionar o pedal do acelerador em plena carga até atingir a velocidade máxima de giro do motor. Em seguida, vai aumentando o torque de modo que começa a introduzir cada vez mais combustível e gerar mais potência, sem alterar a velocidade de giro do motor. O aumento de torque, leva à potência máxima e motor não tendo energia o suficiente para suportar o torque naquele valor e, por conseguinte, sendo preciso diminuir o número de revoluções do motor.

Ainda Oiz (2010), o ponto mais interessante do trabalho do motor é quando numa determinada rotação, o motor dispõe de potência máxima e consumo específico mínimo de combustível.

3.6 Desempenho de um Motor Ciclo Diesel

O óleo de petróleo serve de parâmetro para se comparar o desempenho de um motor a diesel com o óleo vegetal, ou ainda, para que trabalhem de forma semelhante as suas propriedades físico-químicas devem possuir valores bem próximos. Para tanto, o óleo vegetal deve passar por um processo de conversão para biodiesel, através de processos de craqueamento, de transesterificação ou de esterificação, adquirindo propriedades semelhantes ao diesel, e assim, podendo ser misturados em certas proporções, substituindo-o parcialmente ou o uso direto com 100% de biodiesel em motor a diesel com vantagens, principalmente nos benefícios ambientais com a diminuição das emissões de materiais particulados e a eliminação das emissões dos óxidos de enxofre.

Bhuiya *et al.* (2016), informam que vários pesquisadores já realizaram estudos no que se referem ao desempenho e emissões, utilizando misturas de óleo vegetais e seus derivados em motor a diesel. Eles descobriram que o biodiesel é econômico e competitivo em relação ao diesel e analisaram as variações das propriedades físico-químicas das misturas entre diesel e biodiesel apresentando poucas diferenças entre eles, contudo com o uso de biodiesel em proporções mais elevadas houve diminuição considerável das emissões, principalmente de enxofre, no entanto, com aumento do consumo de combustível, mas os benefícios com a diminuição das emissões compensam o uso de biodiesel, inclusive em maiores concentrações.

Gonca *et al.* (2016), afirmaram que as emissões causadas pela queima da misturas diesel-biodiesel com uso em motor a diesel de ignição por compressão (CI) alteraram elevando o consumo específico de combustível (SFC), com o aumento da adição de biodiesel.

Com o aumento das concentrações de biodiesel ao diesel, faz com que haja a diminuição do poder calorífico do combustível (B_x), o que é natural segundo autores já citados, onde o efeito da elevação da densidade do combustível, onde a relação massa/volume torna-se maior o consumo de combustível, que é a quantidade de combustível em massa (kg) consumida por unidade de tempo em segundos (s) e o mesmo ocorrendo com o consumo específico de combustível, ocorrendo também o aumento desta relação consumo de combustível/potência. Todas estas relações influenciam nas avaliações de desempenho de um motor a diesel, cujas alterações são influenciadas pelas variações de concentrações das misturas biodiesel/diesel e em função das rotações adquiridas.

Volpato *et al.* (2009), nos ensaios de desempenho num motor a diesel de quatro cilindros utilizaram como comparação o óleo de soja B-100 e óleo diesel, funcionando em variadas rotações e aprovaram a viabilidade do uso deste biodiesel de soja, como substituto ao diesel.

Contudo, estudos devam se valer de qual ou quais intervalos entre porcentagens de misturas de biodiesel, verificando o desempenho do motor em termos de potência, torque e consumo de combustível, mas é de se observar que maiores concentrações ou 100% de biodiesel ocorrem a diminuição do poder calorífico verificado nas propriedades físico-químicas resultantes destas misturas, o que influencia na queda de desempenho alterando nas demais medidas.

Por outro lado, pode-se obter uma melhora no desempenho do motor substituindo parcialmente o diesel, enquanto que em porcentagem maior o ganho se perde em consequência do menor poder calorífico do biodiesel (LABECKAS, *et al.*, 2006).

Estudos da literatura já informam que misturas de até 20% de biodiesel ao diesel proporciona desempenho semelhante e até superior ao diesel, mas em misturas superiores ocorrem que de desempenho com ocorrência de maior consumo de combustível, mas em contrapartida há o ganho ambiental com a diminuição das emissões de materiais particulados.

3.7 Ensaios em Motores Térmicos

A realização de testes e ensaios em motores é necessária, inicialmente, para a validação do uso da mistura B5, em conjunto com os fabricantes de veículos e peças, com vistas a assegurar ao consumidor final a manutenção da garantia de veículos e equipamentos. Ademais, a avaliação do uso de outros percentuais (Ex.: B10, B20, B50... B100) é importante também para o uso em frotas cativas e para subsidiar decisões referentes à ampliação do uso do biodiesel no país. A BiodieselBrasil desenvolve um programa de ensaios veiculares, considerado o maior do mundo em biodiesel, envolvendo várias categorias e vinculadas ao governo federal.

A BiodieselBrasil (2016), avaliou os ensaios ocorridos no departamento de Mecanização Agrícola da UNESP Jaboticabal, utilizando um trator VALTRA modelo BM100 com 100 cv, sendo avaliado em condições de trabalho no campo, empregando as misturas de biodiesel-diesel em

proporções (B-100), (B-75), (B-50), (B-25) e óleo diesel. Os resultados obtidos com funcionamento normal entre todas as misturas nos ensaios e verificaram que houve uma economia no consumo de combustível com proporções de até 50% de misturas, tendo como justificativa a melhora da lubricidade do motor.

A tendência com o aumento da concentração de biodiesel é de aumentar também o consumo de combustível, como já dito anteriormente, porém neste teste em que a mistura ficou em 50% de biodiesel e 50% de diesel, demonstrou-se que ocorreu o contrário, com diminuição do consumo de combustível, cuja justificativa pela elevação da lubricidade devido ao próprio aumento da concentração de biodiesel, característica da alta viscosidade do óleo vegetal, o qual proporciona a diminuição de atrito interno, consequentemente, menor esforço do motor.

A pesquisa viabilizou a utilização do biodiesel em misturas de 5% e 100%, em máquinas “*off road*”, Caterpillar, da mineradora de ouro Paracatu Mineração, Paracatu, MG, através de ensaios com dinamômetro avaliando o desempenho do motor. Concluíram que o motor “*off road*”, 3508 EUI série 7YG01478, após operar por mais de 4 mil horas com biodiesel não foram observadas perdas de potência e rendimento.

Torres *et al.* (2006), realizaram ensaios com motor Agrale, M-85 estacionário e monocilíndrico de 7,4 kW a 2500 rpm, operando com diesel e biodiesel, acoplado a um dinamômetro hidráulico, onde não foram apresentadas alterações significativas, no entanto, quanto ao consumo específico de combustível o B-100 apresentou um aumento de 20% em relação ao diesel. Testes anteriormente informados, com mistura de até 50% houve diminuição de consumo, mas com aumento desta concentração, como é o caso do uso de biodiesel puro (100%), o aumento do consumo de combustível se deve novamente pela diminuição da atomização do *spray* de biodiesel com gotículas de diâmetros maiores, o que dificulta a combustão mais completa, assim como a tradicional queda do poder calorífico do B-100.

Ensaio semelhantes, pode-se verificar o desempenho do motor a diesel por intermédio da verificação do tempo de atraso de ignição, em função das variações de concentrações de biodiesel ao diesel, o que influenciam no número de cetano em cada uma das misturas de combustíveis alterando, também, as emissões de fumaça.

Com isso, Cheikh *et al.* (2016), utilizaram um motor diesel aspirado, de injeção direta de combustível, de 7,5 kW a 2500 rpm acoplado a um dinamômetro e demais periféricos para medidas de velocidade do motor, torque e emissões de gases de exaustão sendo utilizados as misturas Bx e B-0 (diesel comercial). Como resultado, a queima ocorreu mais rápido com os Bx, ou seja, com menor atraso da ignição devido ao elevado número de cetano com 56,1 (B-100), 54,1 (B50), 51,9 (B-25) e (B-0), para faixas trabalhadas 1500, 1800, 2200 e 2500 rpm com cargas parciais aplicadas de 25% a 100% para cada rotação, com redução de emissões devido ao acréscimo de 12% de O₂

presente no biodiesel, ocorrendo uma melhor oxigenação, característica do biodiesel por possuir um adicional em torno de 12% de oxigênio no biodiesel puro. Este adicional de O₂ favorece uma mistura mais perfeita gerando uma combustão mais rápida pelo menor atraso de ignição.

Cheikh *et al.* (2016), em análise das emissões de CO, em função da velocidade e da carga do motor, para os diferentes combustíveis testados, o biodiesel B-100 apresenta as menores emissões, enquanto comparado com o diesel e as outras misturas de Bx. Segundo eles, isto se atribui ao O₂ adicional na presença e em maior quantidade no biodiesel puro, gerando maior temperatura de combustão com aumento da oxidação de CO em CO₂. Ao analisarem as emissões de materiais particulados (PM), disseram que quanto maior o teor ou a concentração de biodiesel, menor são as emissões. Isto se deve à melhora da quantidade de oxigênio presente na mistura ar/combustível.

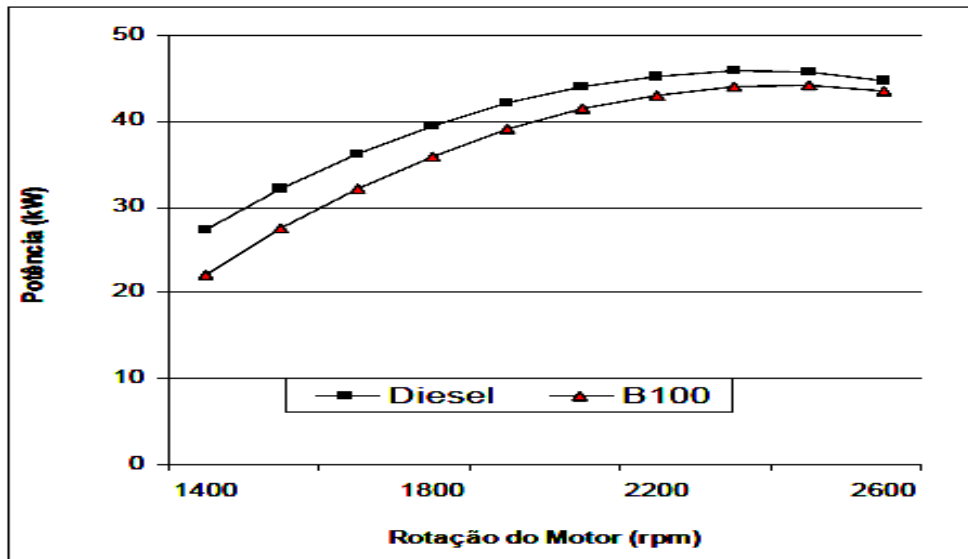
Justificaram, também, que as concentrações de (PM), medidos em pela massa de fuligem em miligrama por unidade de volume ocupado, em metros cúbicos, são inversamente proporcionais ao teor (Bx) de biodiesel na mistura. Os valores medidos com o motor trabalhando em plena carga: 40 mg/m³ (B0), 40 mg/m³ (B0), 30 mg/m³ (B25 e B50) e 25 mg/m³ (B100). Estes níveis de (PM) tendem a diminuir, à medida que se aumenta a rotação do motor, para todas as misturas de biodiesel e indicaram haver um aumento de temperatura na combustão e conseqüente queda de viscosidade, maior volatilidade e melhora na mistura ar/combustível.

Castellanelli *et al.* (2008), realizaram testes com motor diesel CUMMINS 4BTA 3.9 de injeção direta de combustível, sem adaptações, acoplado a um dinamômetro e uma bancada de dados onde avaliaram o desempenho quanto a potência, torque e consumo específico de combustível para o diesel e biodiesel e suas misturas (Bx). Os testes por eles realizados foram embasados pela norma da NBR ISO 1585, para ensaio de motores em trabalho em condição de débito máximo, ou seja, em carga plena de aceleração, gerando curvas características de desempenho comparativo, para os respectivos combustíveis:

- Curva de Potência para Diesel e B-100 (Figura 10);
- Curva de Torque para Diesel e B-100 (Figura 11);
- Curva de Consumo para Diesel e B-100 (Figura 12);
- Curva de Potência para Diesel e B-20 (Figura 13);
- Curva de Torque para Diesel e B-20 (Figura 14);
- Curva de Consumo para Diesel e B-20 (Figura 15).

Castellanelli *et al.* (2008), ao analisarem a curva de potência verificaram que o motor trabalhando com B-100 gerou máxima potência 44,1 kW a 2.467 rpm e com diesel 45,8 kW a 2.333 rpm. E houve diferenças percentuais ao longo da curva, porém para cada uma das velocidades admitidas, as respectivas potências para o biodiesel B-100 foram menores que as potências do Diesel.

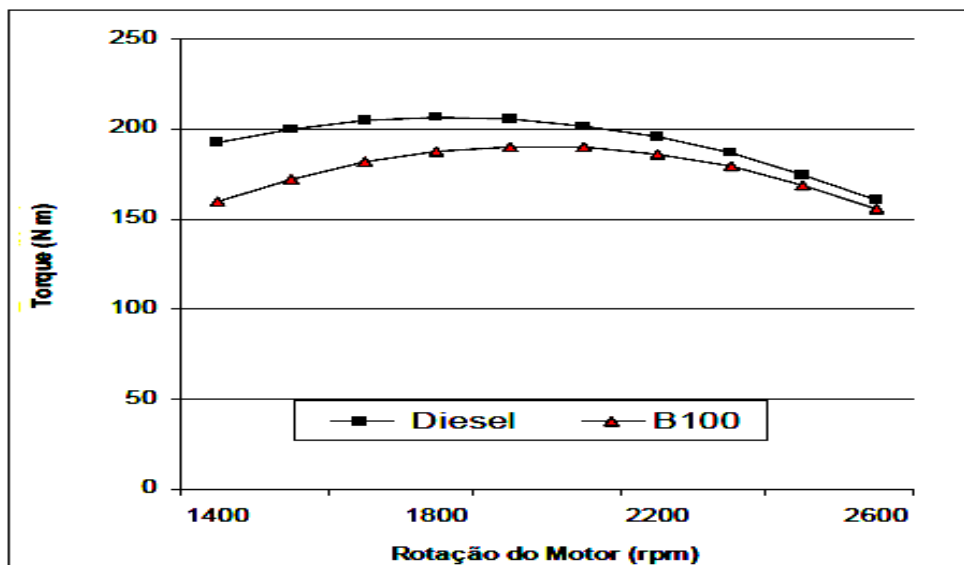
Figura 10 - Curva de Potência para Diesel e B-100



Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

Concluíram que se os valores de potência, torque e consumo específico mantivessem distanciados ao longo da curva, haveria deficiência integral da queima do combustível B-100. Ainda, o que se pode comprovar situações já verificadas por outros autores, o biodiesel, principalmente a 100%, quando em altas rotações diminui a sua viscosidade por elevação da temperatura, o que proporciona sua identidade físico-química se assemelhar ao diesel e produzir desempenho semelhante e muito próximo, como à rotação 2600 rpm com diferenças de torque insignificantes entre si.

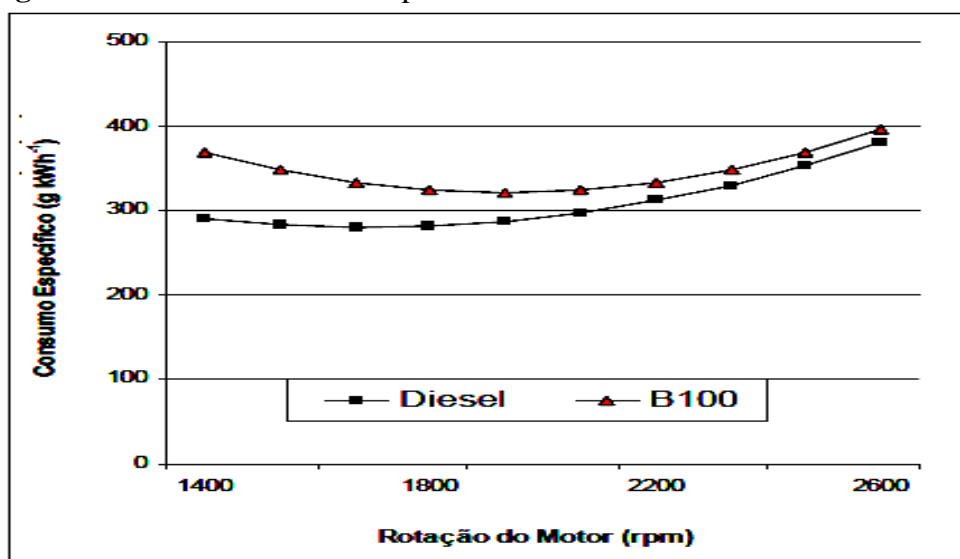
Figura 11 - Curva de Torque para Diesel e B-100



Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

Para o consumo específico mínimo, verificaram que utilizando o B-100, obtiveram $321,3 \text{ g kWh}^{-1}$ a 1.933 rpm , e para o diesel mineral 280 g kWh^{-1} a 1.667 rpm . A diferença de consumo entre estes combustíveis se deve ao menor poder calorífico. Porém, em rotações elevadas, o consumo de B-100 e diesel se assemelham, onde as curvas tendem a se sobreporem. Já o consumo específico mínimo utilizando B-20 foi de $275,7 \text{ g/k. Wh}^{-1}$ a 1.667 rpm , e, para o diesel, foi de 280 g /kWh^{-1} a 1.667 rpm .

Figura 12 - Curva de Consumo para Diesel e B-100



Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

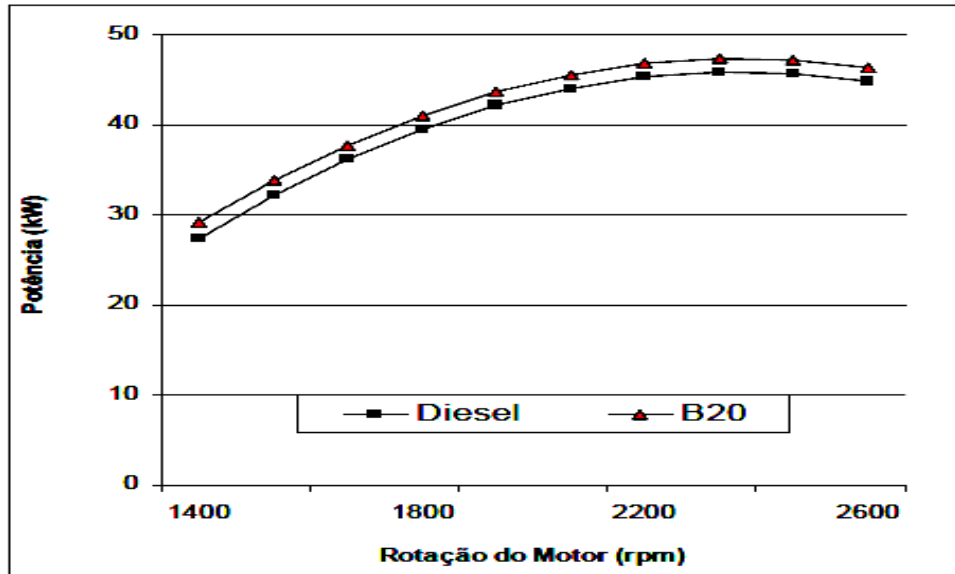
Porém, a maior diferença entre os valores das curvas ocorreu em rotações mais baixas e nas rotações mais elevadas as curvas se aproximaram, de modo que verificaram uma melhora da atomização do biodiesel B-100. Sugeriram que o maior consumo de combustível para o B-100, também esteja relacionado com sua viscosidade superior ao diesel. Isto interfere na atomização do combustível, ocorrendo a queima incompleta do B100. Esta ineficiência, é percebida em baixas e médias rotações. Em resumo, afirmaram que para altas rotações o uso de B-100 é compatível com o diesel, ou seja, seu desempenho de potência, torque e consumo se aproxima do diesel puro.

Ao analisarem a curva de potência para o Diesel e o B-20, a máxima potência adquirida pelo motor foi de $47,3 \text{ kW}$ a 2.333 rpm e ao longo da curva a potência se manteve ligeiramente superior à potência do diesel puro. Quanto ao torque máximo utilizando B-20 foi de $205,1 \text{ N m}$ a 1.800 rpm , e, para o diesel, foi de $206,4 \text{ N m}$ a 1.800 rpm .

Em revisões da literatura, autores observaram que até 20% de mistura de biodiesel ao diesel, tornam o desempenho do biodiesel semelhante ao diesel, em quaisquer níveis rotacionais demonstrando e comprovando que as duas curvas de torque do diesel e do biodiesel apresentam

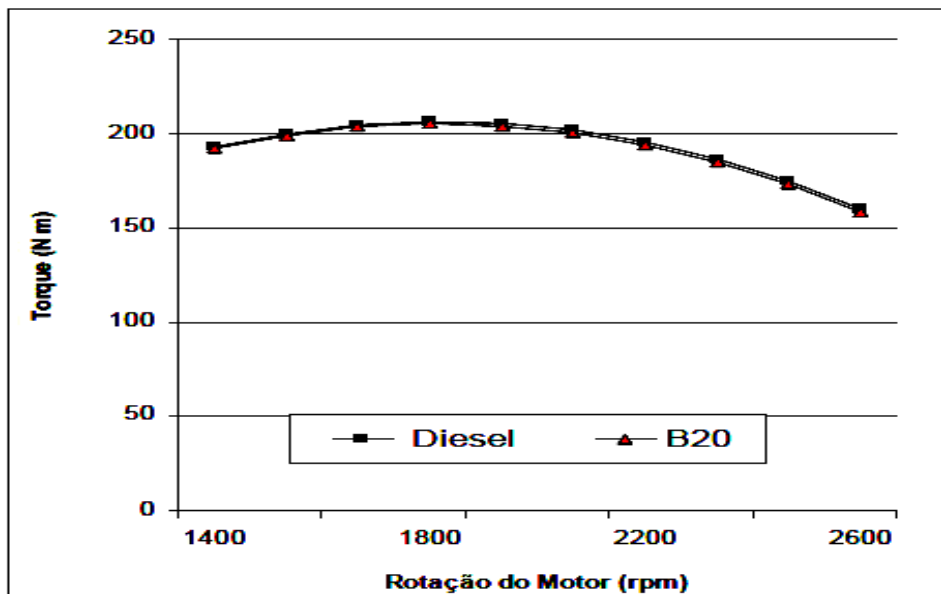
a mesma tendência no desenvolvimento das curvas, sem haver distanciamento dos pontos, o que poderiam comprometer o desempenho do biodiesel, caso contrário. O que pode ser conferido também para a potência, onde a 20% de biodiesel as curvas são similares ao longo de todas as rotações apresentando o mesmo comportamento.

Figura 13 - Curva de Potência para Diesel e B-20



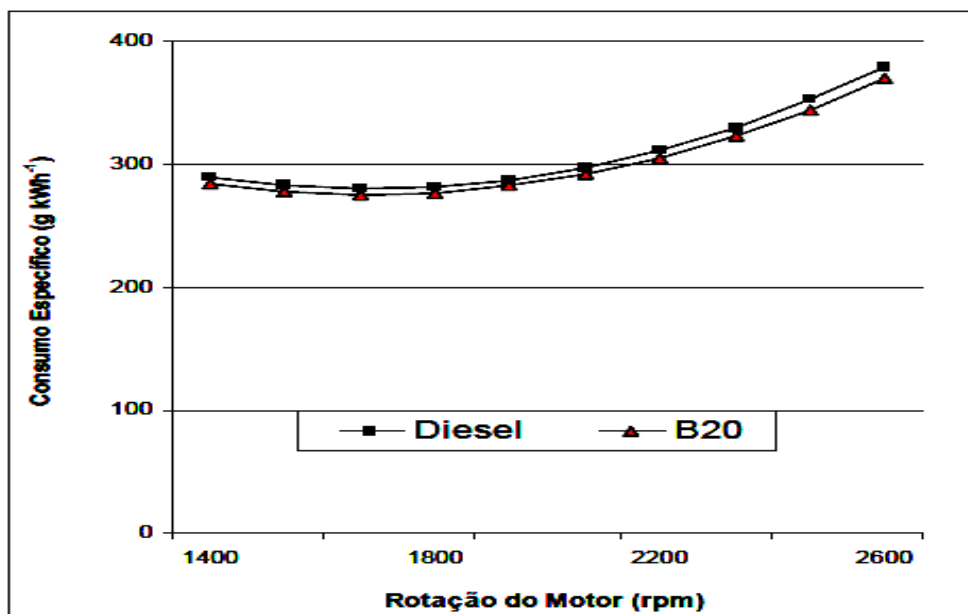
Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

Figura 14 - Curvas de Torque para Diesel e B20



Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

Figura 15 - Curvas de Consumo para Diesel e B20



Adaptado de: (CASTELLANELLI, 2008).

Em resumo, afirmaram que o comportamento do B-20 foi superior ao diesel, ao analisarem as curvas de potência, torque e consumo de combustível. Noutras análises, de B-02, B-05 e B-10 estes se apresentaram com desempenho semelhante a diesel. No entanto, com o uso de B-50, este aumento de concentração na mistura com o diesel fez com o desempenho tornasse inferior a todos os combustíveis, em termo de potência, torque e consumo específico de combustíveis, com tendência do distanciamento das curvas entre estes combustíveis, acentuando-se ainda mais ao aumentarem a concentração de biodiesel para 70%.

3.8 Emissões em Motores a Diesel

Ghazali *et al.* (2015), relataram que as emissões de fumaça, partículas de (PM) em suspensão, (CO), (CO₂), (NO_x) a partir da combustão de combustíveis fósseis são as principais causas, tanto da poluição atmosférica quanto de saúde pública. O uso de biodiesel reduz as emissões de monóxido de carbono (CO), do material particulado (PM), do óxido de enxofre (SO_x) e (CO₂) gases altamente poluentes e prejudiciais ao meio ambiente.

Muitos estudos demonstram que o biodiesel é mais biodegradável e produz menos matéria particulada e gases tóxicos e de efeito estufa durante a queima que o óleo combustível derivado do petróleo, sendo mais amigável para a atmosfera (BIOENERGIA, p.855, 2012).

No entanto, mesmo que o biodiesel seja ecologicamente correto, o incremento de sua produção pode trazer também, assim como o diesel, prejuízos ambientais, pois o aumento de produção está ligado diretamente à ampliação de áreas plantadas, competindo com a alimentação e

desmatamento para a monocultura da soja, por exemplo, além do aumento do uso de intensivos agrícolas com risco de poluição de córregos e rios.

Cheikh *et al.* (2016), indicaram que várias fontes bibliográficas já apresentaram inúmeras vantagens de uso de biodiesel: ele ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, não contém enxofre ou compostos aromáticos, é renovável e mais seguro de manusear, além disso, seu conteúdo de oxigênio reduz as emissões relacionadas às condições de combustão pobres.

Kumar *et al.* (2016), corroboram que os motores a diesel impulsionam vários setores, como a agricultura, o de transporte e o industrial. No entanto, os motores utilizam óleo combustível fóssil emitem grandes quantidades de poluentes nocivos, como fuligem e NOx.

Muitos autores concluíram que há um aumento de emissões de NOx, quando se usa biodiesel devido à grande concentração de oxigênio que, por outro lado teores elevado de O₂ contribuem para uma melhora da combustão. O aumento dessas emissões não deve ser tratado como impedimento do uso de biodiesel, pois apresenta grandes vantagens em relação a outros poluentes, ainda que seja um dos principais precursores da camada de ozônio, o que pode ser amenizado com o emprego de catalisadores, bem como modificações na bomba injetora com alteração do ponto de ignição.

Suh *et al.* (2016), afirmam que as emissões de escape dos veículos automotores, como os materiais particulados, os óxidos de azoto, os monóxidos de carbono, os hidrocarbonetos e os dióxidos de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis geram grandes problemas ambientais, no que diz respeito à qualidade do ar. Resultados indicam que os hidrocarbonetos não queimados, suas emissões estão altamente relacionadas com a velocidade de rotação do motor. No entanto, as emissões de CO e particulados (PM) estão altamente correlacionados com a carga motora e menos sensíveis às alterações da velocidade do motor.

Para Caffaro *et al.* (2015), as emissões veiculares são uma das principais fontes de material particulado nas grandes cidades. Nesse sentido, seguindo a tendência dos países mais desenvolvidos, a legislação brasileira através do PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) vem estabelecendo limites cada vez mais restritivos para o material particulado e outros poluentes presentes nas emissões veiculares.

A fuligem é, em termos de poluição, identificada como uma grande causadora da poluição gerada no meio ambiente, contudo ela não emana nenhum outro tipo de poluente na atmosfera, mediante a queima de combustíveis (SONG, 2014, pg. 281-287).

A massa de material particulado retida nos filtros pode ser obtida e medida através de análise gravimétrica, utilizando micro balança eletrônica com uma sensibilidade de 1 µg na detecção em concentração mássica de material particulado, constituído de carbono originado da queima incompleta dos combustíveis e que causa extrema toxicidade e que o emprego de biodiesel, principalmente B-100, reduz drasticamente as emissões de fuligem.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de desempenho do motor na avaliação de potência, torque e consumo de combustível, bem como das emissões de gases foram conduzidos nas dependências do Laboratório de Motores e Combustíveis (LAMOC), no Prédio 28, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, no campus Xerém, RJ, Brasil.

Nos dias em que se realizaram a coleta de dados nos testes aplicados no motor a diesel, a temperatura e a pressão médias locais foram, respectivamente, 30°C e 1005 mmHg. A seguir, o tópico 4.1 descrevendo a Metodologia e o tópico 4.2 os Materiais utilizados para os devidos ensaios.

4.1 Metodologia do Experimento

O objetivo deste referido trabalho, foi avaliar o desempenho e análise dos gases de um motor a diesel utilizando os seguintes combustíveis:

- Diesel (S-10);
- B-20;
- B-50;
- B-100;

O método utilizado para o ensaio das curvas de desempenho do motor a diesel com uso de misturas e a análise dos gases da queima, somente puderam ser iniciados após o devido cuidado aos procedimentos operacionais adotados com o equipamento em estado de repouso.

1. Checado no motor: nível de óleo do motor e nível da água do sistema de arrefecimento;
2. Ligado o computador “AVL Puma” de controle do dinamômetro e o computador auxiliar de registro de dados em planilhas referentes aos ensaios manuais (opção).

Observação: os dados registrados em planilhas (Apêndice II – Figuras 31 a 42);

3. Ligar o painel de acessórios (bomba d’água, insuflador da sala e exaustor);
4. Ligar os equipamentos periféricos “AVL *Fuel mass -753*”, “*Flow Meter-735*” e o “AVL *Smoke meter*”.

A seguir, as sequências das etapas no emprego da metodologia para avaliação das curvas de desempenho, em conformidade com a NBR ISO 1585: Veículos Rodoviários – Código de ensaio de Motores – Potência Efetiva:

1. Ligar o *software* PUMA unidade de processamento computacional e operacional da mesa de console do dinamômetro;
2. Ligar o motor, em marchar lenta, na rotação (*Idle*) a 800 rpm;
3. Pré-aquecer o motor, elevando a rotação e o pedal de aceleração, em 3 Estágios, necessários para estabilizar gradativamente o motor, de modo que ao final dos estágios a temperatura atingisse em torno de 85°C: O controle do pedal para cada estágio, é importante devido o controle de enchimento do motor, de modo que não haja excesso de massa de combustível na mistura com a massa de ar de admissão. Seguem os estágios:
1ª Estágio: 1300 rpm a 30% de pedal mantidos num intervalo de tempo de 2 minutos;
2ª Estágio: 1500 rpm a 50% de pedal mantidos num intervalo de tempo de 2 minutos;
3ª Estágio: 1800 rpm a 70% de pedal mantidos num intervalo de tempo de 2 minutos;
4. Elevar gradativamente e simultaneamente a velocidade do motor à rotação máxima de 2400 rpm e o pedal a 100 % de enchimento do motor, a torque zero do dinamômetro, para então iniciar as leituras:
5. Realizar as leituras dos dados característicos do motor, para todos os níveis rotacionais, iniciando à rotação máxima de 2400 rpm até atingir a rotação mínima de 1000 rpm, utilizando variação de 100 rpm entre os 15 níveis de giro do motor. As leituras referem-se:
 - Potência;
 - Torque;
 - Consumo de Combustível;
 - Temperatura de Óleo,
 - Temperatura de Água,
 - Temperatura de Ar;
 - Temperatura de Escape,
 - Pressão Atmosférica;
 - Número de Fumaça,
 - Fuligem ou Material Particulado;
 - Nível de Poluição;
6. Registrar as medidas dos dados coletados no *software* em cada planilha eletrônica do Excel, respectiva a cada combustível e a cada uma das 3 amostras ou repetições dos ensaios;

7. Avaliar as curvas de desempenho geradas em cada uma das planilhas, para cada combustível e em cada repetição.

A seguir, as grandezas medidas e registradas durante os ensaios de desempenho:

a) para as medidas de Desempenho do Motor:

- Potência (kW)
- Torque (N.m)
- Consumo de Combustível (kg/h)

b) para as medidas de Temperatura do Motor:

- Temperatura do Óleo-motor (°C)
- Temperatura de Entrada de Água de Refrigeração (°C)
- Temperatura de Saída de Água de Refrigeração (°C)
- Temperatura do Coletor de Admissão de ar (°C)
- Temperatura dos Gases de Escape do Turbo (°C)
- Temperatura do Bulbo Seco (°C)

c) para as medidas de Pressão do Motor:

- Pressão Barométrica (mbar)

d) para as medidas das emissões dos Gases de Escape do Motor:

- Número de Partículas de Fumaça (FSN)
- Fuligem dos Gases (mg/m³)
- Nível de Poluição (%)

4.2 Materiais

A seguir, os materiais utilizados nos ensaios das curvas de desempenho do motor a diesel, no que se referem aos combustíveis, o motor a diesel, o dinamômetro, os periféricos, o sistema de refrigeração, o sistema de alimentação e o software de dados de controle do dinamômetro necessários para a realização da pesquisa.

4.2.1 Combustíveis

I. Diesel

O óleo diesel utilizado para os ensaios em motor foi o S-10, que se caracteriza pela quantidade de enxofre a 10 ppm (partes por milhão), a 93% de diesel puro e 7% de biodiesel em sua composição. Este produto, comercializado pela Petrobras Distribuidora, foi adquirido em postos de combustíveis do Rio de Janeiro, RJ.

Amostras deste combustível foram utilizadas para análise do número de cetano, em conformidade com a Norma ASTM D 613/14, realizada em motor a diesel CRF do Laboratório de Motores e Combustíveis – LAMOC – INMETRO-RJ (Apêndice I - Figura 59).

II. Biodiesel

O biodiesel de soja utilizado para os ensaios em motor a diesel no LAMOC, foram adquiridos junto à GRANOL – Indústria, Comércio e Exportação S/A, com unidade em Porto Nacional, TO, e misturados ao diesel (S-10) nas proporções de 20% (B-20) e 50% (B-50). Foram também utilizados para os ensaios a 100% (B-100) do biodiesel puro de soja, totalizando 300 litros armazenados em bombonas de 50 litros e transportado para o INMETRO-RJ em caminhonete cedida pelo Instituto Federal do Tocantins, campus Palmas (Figura 16).

Amostras deste combustível também foram utilizadas para análise do número de cetano e ponto de fulgor (Apêndice I - Figuras 60 a 62). O biodiesel de soja apresenta as análises de suas propriedades físico-químicas emitidas no Certificado de Qualidade (Apêndice I - Figura 63).

Figura 16 - Granol Indústria Comércio e exportação S/A

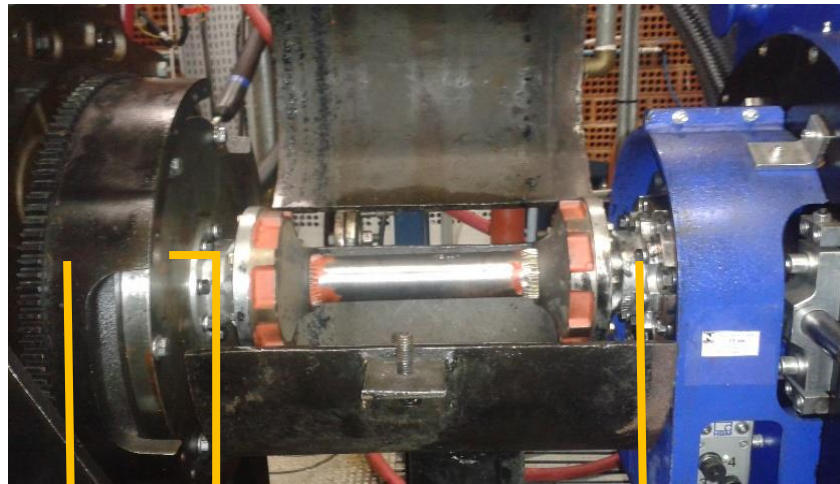


4.2.2 Equipamentos

I. Eixo-Acoplamentos

Este conjunto é constituído pelo eixo acionado com duplo acoplamento elásticos e flexíveis, que têm por finalidade conectar o motor diesel ao dinamômetro transmitindo torque e potência. Especificamente, este duplo acoplamento, que além de ligar o eixo do motor (virabrequim) ao eixo do dinamômetro, serve para compensar os inevitáveis desalinhamentos entre o conjunto motor-dinamômetro absorvendo choques e vibrações destas máquinas, através de seus anéis elásticos de torção construídos de material de borracha. A conexão dos acoplamentos se faz através dos flanges do motor e do dinamômetro (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Acoplamento Motor-Dinamômetro



Volante do Motor

Flange do motor

Flange do Dinamômetro

Figura 18 - Eixo-acoplamentos do Motor-dinamômetro



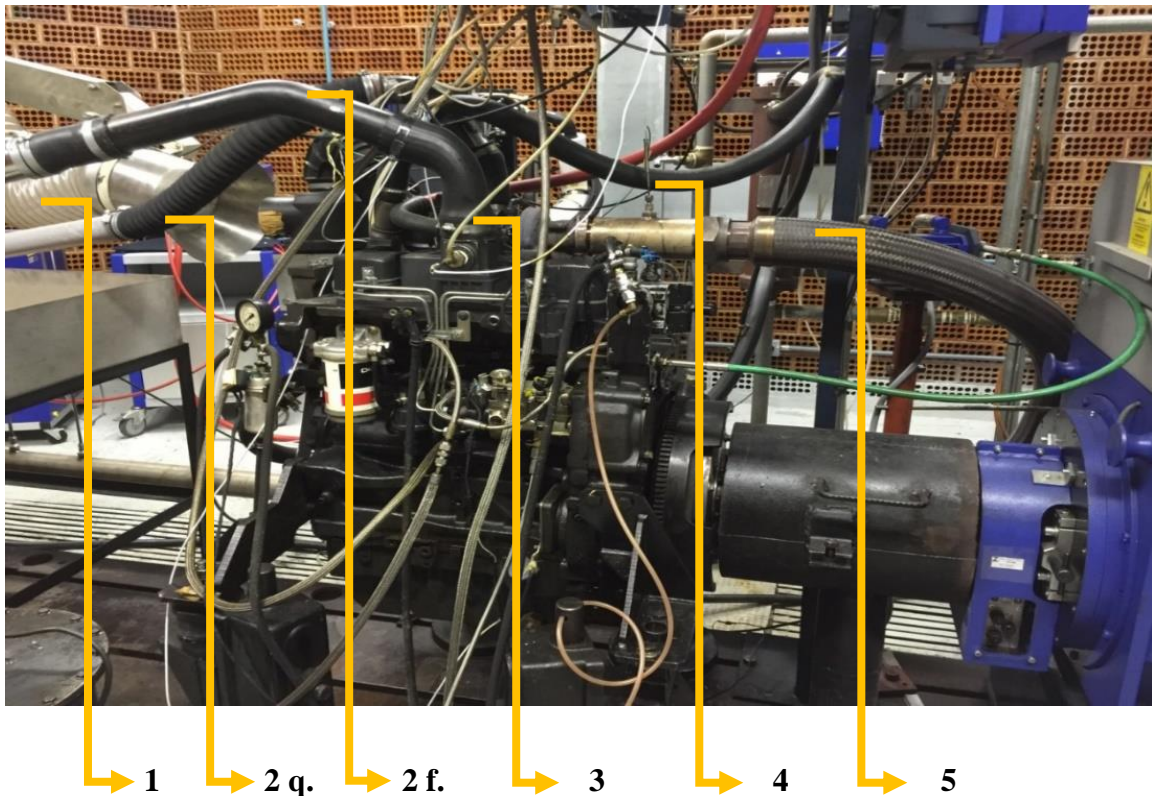
Eixo transmissor de força motor-dinamômetro
Duplo Acoplamento Flexível motor-dinamômetro

II. Motor a Diesel

Para os ensaios de desempenho foi utilizado um motor do ciclo diesel 4 tempos, de ignição por compressão com pré-câmara de combustível em 4 cilindros, com uma cilindrada total de 4485 cm³ proporcionando uma potência máxima nominal de 97 kW à rotação de 2400 rpm e torque máximo nominal 500N.m. O sistema de alimentação de ar e o sistema de gases da queima do combustível na câmara de combustão são compostos por (Figura 19):

1. **Tubulação de Ar Refrigerado** – ar condicionado direcionado entrada/saída do filtro de ar;
2. **Tubulação de Ar *Intercooler*** – entrada ar quente (2 q.) e saída ar frio (2 f.);
3. **Tubulação de Ar Admissão** – entrada de ar refrigerado (alta pressão) na câmara de combustão;
4. **Tubulação de Gases de Escape (medição)** – entrada/saída dos gases no medidor *Smoke Meter*;
5. **Tubulação de Gases de Escape (atmosfera)** – saída dos gases para o meio ambiente.

Figura 19 - Motor a Diesel



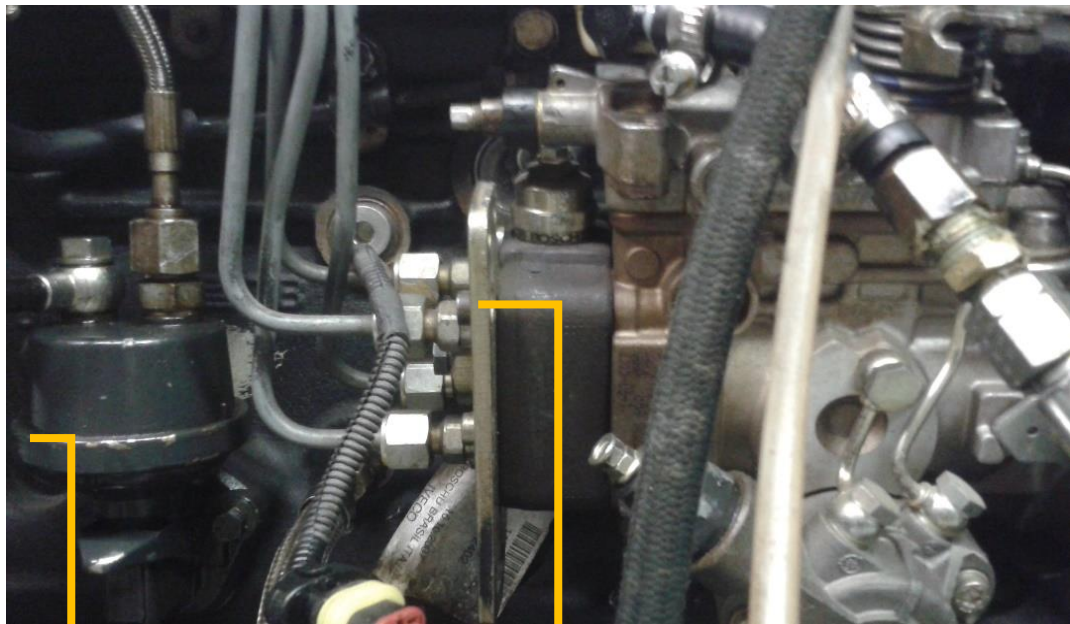
O ar condicionado (15 °C) externamente no Mecalor é conduzido pela tubulação de ar refrigerado e direcionado na entrada do filtro de ar, sendo então filtrado e conduzido para a entrada do compressor, tendo sua pressão e temperatura elevadas. Na saída do compressor, o ar quente é conduzido para a entrada do intercooler para ser refrigerado na saída e o fluxo de ar frio sendo admitido na entrada da tubulação de admissão. Os gases da queima do combustível

são direcionados para a tubulação de escape convencional (atmosfera) e pequeno volume destes gases vão para a tubulação do medidor de fumaça *Smoke Meter*.

A energia de bombeamento deste sistema de alimentação de combustível diesel aos cilindros é fornecida pela energia mecânica do dinamômetro, e não pela bateria elétrica, necessária para dar partida ao motor e conseqüentemente ao funcionamento deste sistema e demais outros. O sistema de alimentação de combustível do motor é constituído por um sistema mecânico formado por uma pré-bomba e uma bomba injetora de pistões.

A pré-bomba de combustível ou simplesmente bomba pré-alimentadora tem a função de aspirar o diesel do tanque e fornecer, a baixa pressão, até a entrada da bomba injetora que, por sua vez, irá comprimir o combustível até os bicos injetores, onde atinge altas pressões, necessárias para a atomização e queima nas câmaras de combustão, enviando-o por linhas individuais, para cada injetor (Figura 20).

Figura 20 - Pré-bomba e bomba Injetora de Combustível



Pré-bomba de combustível

Bomba Injetora de combustível

III. Dinamômetro

O dinamômetro utilizado para pesquisa no laboratório de motores do INMETRO é do modelo AVL *Schneider Electric Drives*, tipo ativo-passivo que, por ser extremamente sensível, resulta numa melhor exatidão dos dados coletados e ainda pode acionar o motor a diesel sem que este entre em funcionamento por combustão, o que lhe confere medir suas resistências passivas ao torque. É constituído por um rotor acionado pela máquina de prova, girando imerso em um campo magnético.

A intensidade do campo é controlada através de uma bobina alimentada por corrente contínua, podendo-se, assim, variar a carga aplicada, sendo refrigerado por duplo ventilador girado por dois motores elétricos (Figuras 21e 22). E as características do dinamômetro AVL – *Schneider Electric Power Drives* (Tabela 2).

Figura 21- Dinamômetro AVL *Schneider Electric Drives*

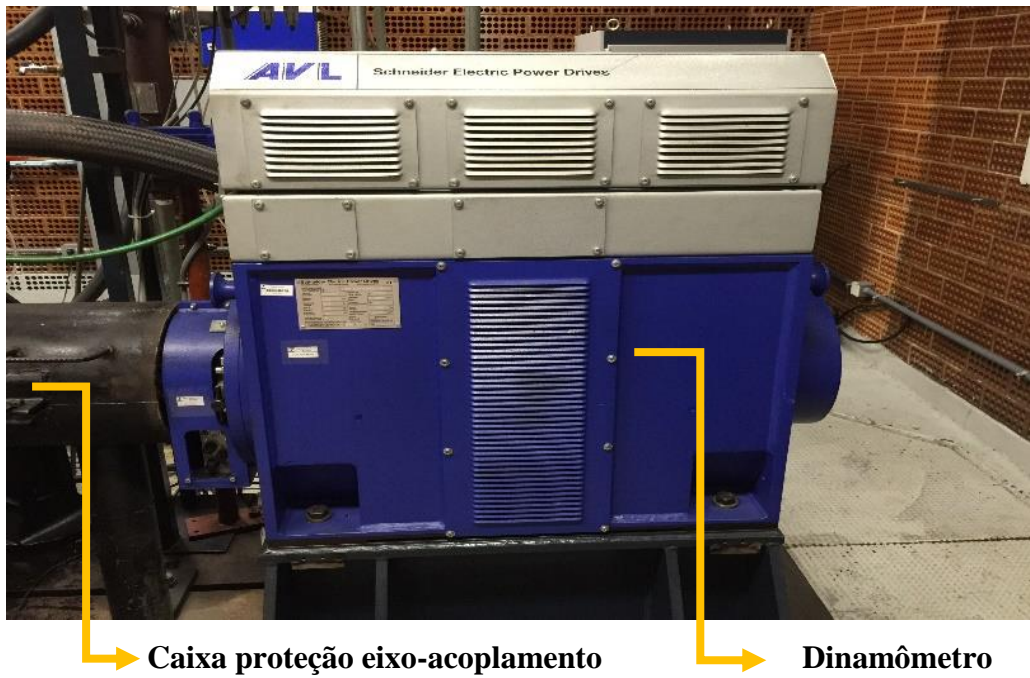


Figura 22 - Dinamômetro AVL *Schneider Electric Drives* (abertura de tampa)

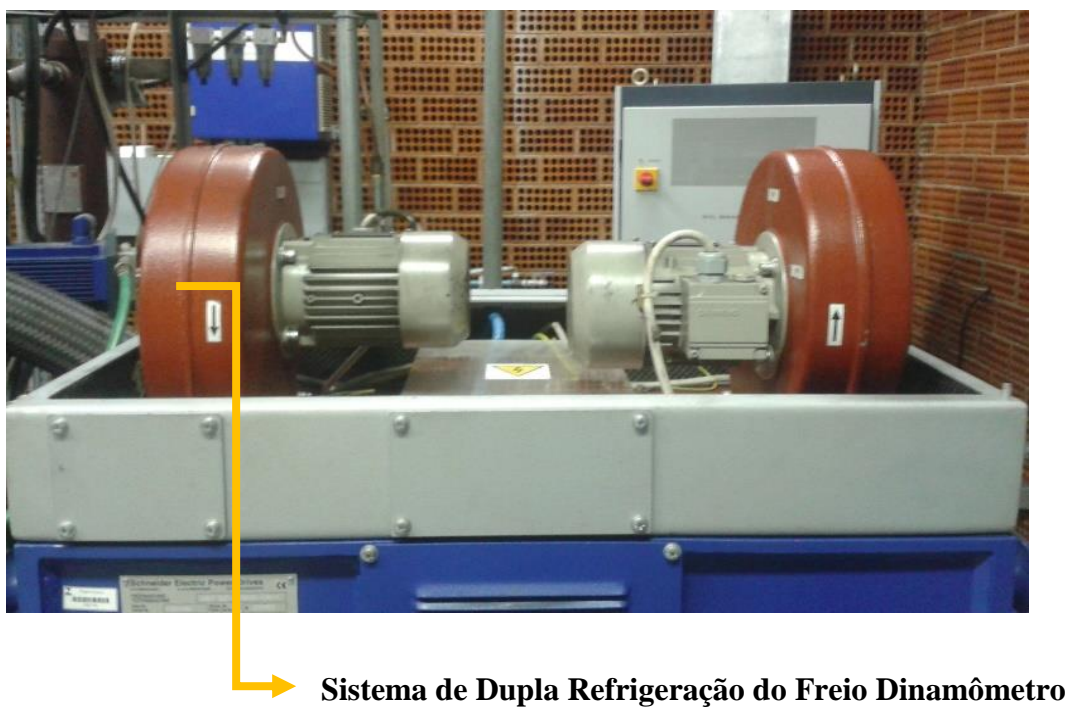


Tabela 2 - Características do Dinamômetro

<i>AVL – Schneider Electric Power Drives</i>		
Classificação	Unidade	Valor
Serial	-----	130408
Potência	kW	145~220
Voltagem	V	220
Corrente Elétrica	A	294
Frequência	Hz	297
Rotação	Rpm	8000
Torque	kgm ²	0,92

IV. Medidor de Fuligem – “*Smoke Meter AVL 415 S*”

O *Smoke Meter AVL 415 S* é um filtro do tipo medidor de fumaça para medir o teor de fuligem ou de fumaça dos gases de escape de motores a diesel. A medição de fumaça, originadas pela queima incompleta do diesel, utiliza-se o equipamento “*Smoke Meter 415 S*”, que é um filtro medidor do número de fumaça (valor adimensional), da fuligem ou material particulado (mg/m³) e do nível de poluição (em %) sendo que os dados coletados pelo *software* PUMA (Figura 23).

Figura 23 - Medidor de Fuligem “*AVL SMOKE METER*”

O sistema deste periférico possui uma fita em rolo de papel de filtro limpo no instrumento, por onde o fluxo de gases de exaustão passa e são plotados, formando sobre o papel de filtro circunferências escurecidas devido à fuligem. Estas impregnações de fumaça no filtro são detectadas por um sensor de medição fotoelétrica e avaliado no microprocessador PUMA e calcular o resultado em FSN ou mg/m^3 .

Esta unidade de medida é interpretada, através da Norma ISO 10054, como sendo a quantidade de massa de fumaça, em mg, por unidade de comprimento, em m, de coluna de gases de escape. Outra maneira de medir a fumaça dos gases de escape do motor é através da concentração de fuligem, dada por unidade de medida mg/m^3 , de emissões, utilizada pela INMETRO.

Este teor de fuligem, portanto, mede a quantidade de massa de fuligem, em mg, por unidade de volume, em m^3 , dos gases de escape aspirados pelo papel de filtro na amostragem permitindo-se, ainda, que seja feita uma avaliação por meio visual, através da abertura da tampa do equipamento *Smoke Meter* (figura 24).

Figura 24 - Medidor de Fuligem “AVL SMOKE METER” (em aberto)



Rolo Filtro de Papel-coletor de Fuligem

Este AVL *Smoke 415 Meter* do LAMOC realiza em suas medidas de poluição para a fumaça presente com “Faixa de Medição” 0 a 10 FSN, para o Limite de Detecção 0,002 FSN, sendo aproximadamente igual a $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$. O equivalente de 1 FSN, então representará:

- Limite de detecção: $0,002 \text{ FSN} = 0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$
- Volume de Amostragem: 1 m^3

Teremos a unidade de FSN:

- $1,0 \text{ FSN} = 0,01 \text{ g}/\text{m}^3 = 10 \text{ mg}/\text{m}^3$

Assim, podemos verificar os valores de medição que podem ser obtidos nos ensaios de fumaça e fuligem (Tabela 3):

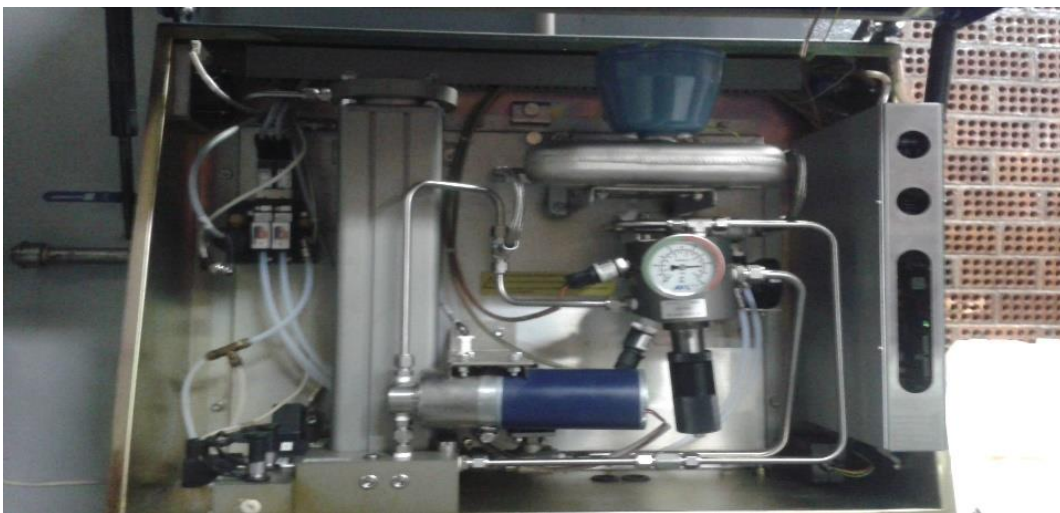
Tabela 3 - Características do AVL *Smoke Meter* 415 S para medição de fumaça e fuligem

Características	(FSN)	(mg/m³)
Faixa de Medição	0 a 10	0 a 100
Unidade Medição Mínima	1,0	10,0
Unidade Medição Máxima	10,0	100
Limite de Detecção	0,002	0,02
Resolução	0,001	0,01

V. Sistema de Medição de Fluxo de Massa e Sistema de Controle de Temperatura

O AVL medidor de temperatura “*Fuel Temperature Control*” trabalha em conjunto com o medidor de vazão de combustível “*Fuel Mass Flow Meter*”, cuja finalidade é controlar a pressão e temperatura de combustível mantendo-os constantes, de modo que não haja alteração ou oscilação do fluxo de massa de combustível ao alimentar a bomba injetora do motor a diesel do laboratório. Por possuir um sistema de resfriamento controlado permite que o operador mantenha a temperatura dentro de uma faixa de 10 °C a 80 °C, sendo que ao trabalhar com uma determinada temperatura constante consegue garantir uma medição precisa da vazão de massa de combustível (Figura 25).

Figura 25 - Sistema de Medição de fluxo de Massa e de Controle de Temperatura



Ainda que possa trabalhar com biodiesel, este conjunto não foi utilizado para ensaios com este tipo de óleo, por precaução, visto que pode ocorrer uma reação do óleo vegetal com os componentes de borracha destes periféricos de medição. A pressão de alimentação trabalha de 0,5 bar a 6 bar e fluxo de massa de combustível é 240 l/h ou consumo máximo de 125 kg/h.

VI. Sistema de Refrigeração do Motor

O sistema de refrigeração do motor a diesel possui equipamentos, tais como a torre de resfriamento, o mecalor, o *cooler* e o *intercooler* que controlam a temperatura da água de refrigeração do motor e da água de refrigeração do ar de admissão da câmara de combustão. A seguir, serão apresentados estes recursos de controle de temperatura do motor.

- **Torre de Resfriamento**

A torre de resfriamento ou de arrefecimento tem por finalidade retirar o calor do motor a diesel transferindo-o para o meio ambiente resfriando-se, assim, a água de refrigeração do motor controlando sua temperatura em torno de 85 °C (Figura 26).

Figura 26 - Torre de Resfriamento



É composta por duas torres ou dois tanques de água, onde um fluxo de ar forçado por ventoinhas tem direção perpendicular aos tanques e à água contida nestes reservatórios, retirando calor e transferindo para a atmosfera que, conseqüentemente, refrigera a água necessária para retirar o calor do motor a diesel quando por ele circular e enviando novamente a torre de arrefecimento fazendo com que feche o circuito de refrigeração desta água.

- **Cooler**

É constituído por um trocador de calor (Figura 27) que auxilia a torre de resfriamento no processo de resfriamento da água do motor e do reservatório de água do *intercooler*, controlando-se, dessa forma, a temperatura da água e a sua circulação através de uma válvula termostática de controle de pressão (Figura 28), que fecha o circuito de água quando a temperatura se encontra abaixo da temperatura de trabalho e se abre, por aumento de pressão, quando a temperatura está acima desta temperatura de trabalho permitindo que o fluido circule pelo motor retirando calor e baixando a temperatura novamente para o valor ideal de trabalho.

Figura 27 - Refrigeração do Motor e Válvula Termostática

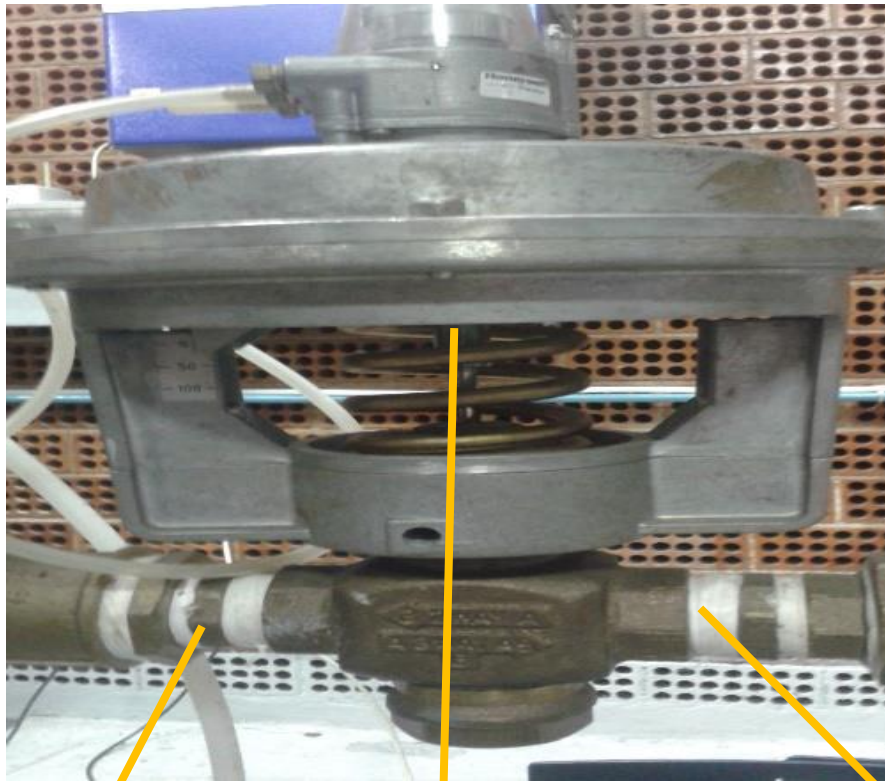


Circuito de Água

Válvula Termostática

Trocador de Calor

Figura 28 - Válvula Termostática

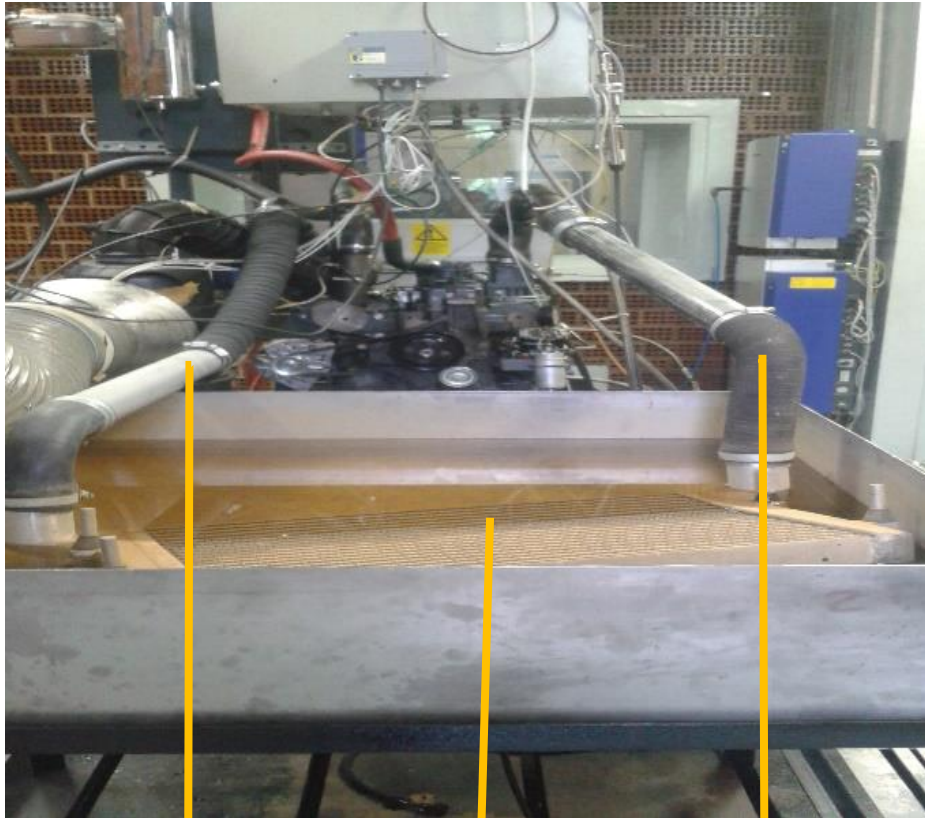


Entrada de Água Mola Reguladora de Pressão/Temperatura Saída de Água

- ***Intercooler***

Este equipamento é também um trocador de calor, tal como o radiador de um veículo e que fica instalado dentro de um reservatório de água refrigerada, ou seja, imerso no fluido refrigerante para que haja troca de calor do ar proveniente do compressor do motor com a água do reservatório. Esta troca de calor proporciona o resfriamento do ar que deverá ser admitido na câmara de combustão do motor aumentando-se, assim, sua eficiência volumétrica. Isto se deve porque o ar, ao ser comprimido no compressor, aumenta sua temperatura e conseqüentemente diminuindo a sua massa específica. Logo, o *intercooler* tem por finalidade diminuir a temperatura do ar comprimido para que assim volte a aumentar a densidade (Figura 29).

Figura 29 - Sistema de Refrigeração (Refrigeração Ar/Água)



Entrada de Ar (quente) Trocador de Calor (Radiador) Saída de Ar (refrigerado)

- **Mecador AVL**

O Mecador é um sistema de refrigeração do ar a ser admitido pelo filtro de ar do motor, onde este fluido chega condicionado a uma temperatura média de 15 °C (Figura 30).

Figura 30 - Mecador AVL



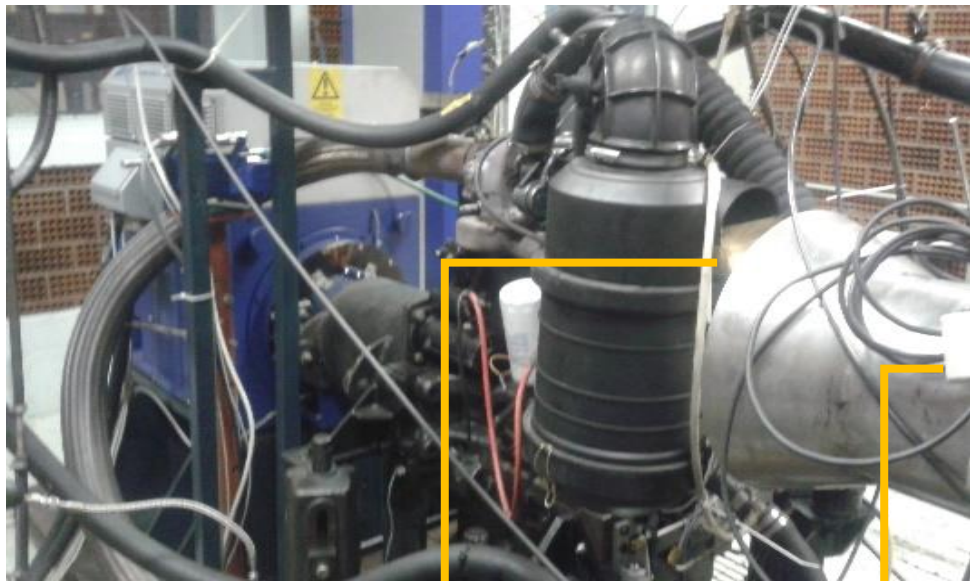
Este fluxo de ar refrigerado é recebido, portanto, pelo filtro de ar do motor e em seguida dando entrada no compressor que, conectado a uma turbina em altas rotações, comprime o ar para que terá seu destino, após passar pelo radiador, a câmara de combustão. (Figuras 31 e 32)

Figura 31 - Tubulação de Ar proveniente do Mecador



Reservatório de Água (Intercooler) ←

Figura 32 - Tubulação de Ar proveniente do Mecador



Tomada de Ar (Filtro) ←

Tubulação Ar (Mecador) ←

VII. Sistema de Alimentação do Motor

A pesquisa em estudo, como envolve diesel e biodiesel, o motor possui dois sistemas de alimentação diferenciados, pelo fato de evitar o contato e deterioração de alguns dos componentes internos do AVL de medição de combustível.

Este sistema de alimentação é controlado por uma chave seletora que quando se encontra desligada, o motor está sendo alimentado por diesel e, na posição ligada, o motor é alimentado por biocombustível.

O sistema de alimentação do motor a diesel é composto pelo reservatório de diesel, pelas bombonas de biocombustíveis, a bomba injetora de combustível e a pré-bomba de combustível, sendo descritos a seguir. O sistema de alimentação a diesel, é constituído pela pré-bomba e pela bomba injetora de combustível e pelo reservatório de combustível.

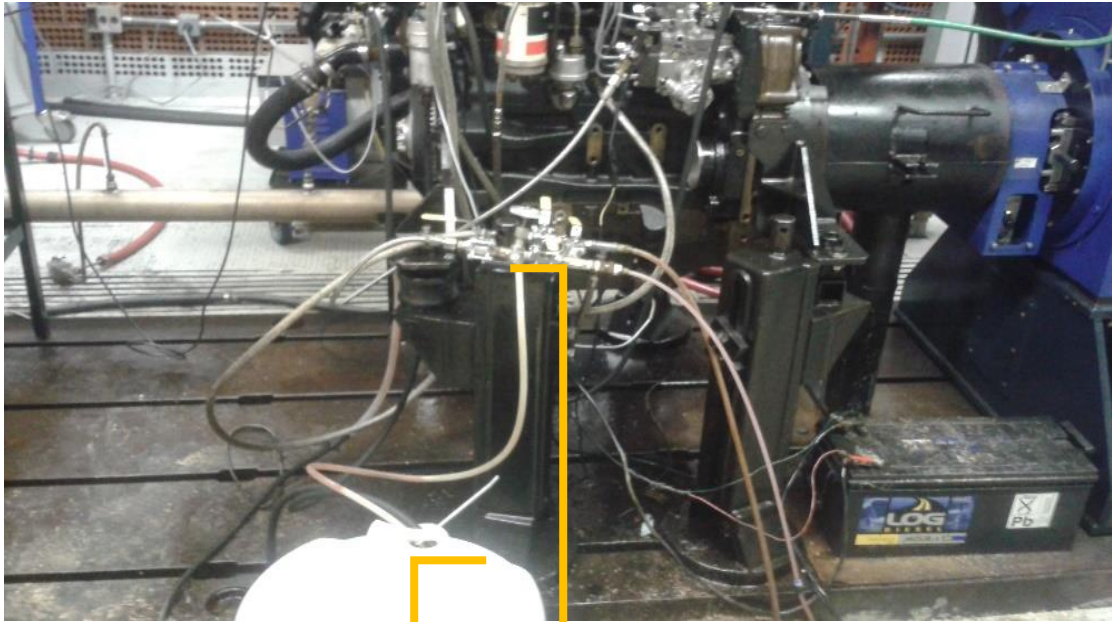
O reservatório de combustível constituído pelo conjunto de dois tanques de 300 litros cada, encontra-se localizado em ambiente externo ao LAMOC e o fornecimento do fluxo de massa de combustível para o abastecimento da bomba injetora ocorre por gravidade a uma altura manométrica aproximadamente de 8 metros (Figura 33).

Figura 33 - Reservatório de Combustíveis a Diesel



Antes, porém, o combustível passa por um difusor, elemento de conexão que possui uma entrada de combustível, esta proveniente da linha do reservatório, e duas saídas sendo uma direcionada para a pré-bomba de a outra, para o transdutor de pressão. O sistema de alimentação a biocombustível é constituído por um galão ou bombona de 50 litros e Sistema de Bombeamento de Biodiesel que fica localizado no piso do LAMOC (Figuras 34, 35 e 36).

Figura 34 - Sistema de Alimentação a Biodiesel



Bombona de Biodiesel

Sistema de Bombeamento de Biodiesel

Figura 35 - Sistema de Alimentação a Biodiesel



Figura 36 - Sistema de Alimentação a Biodiesel



Bomba acoplada ao Manômetro

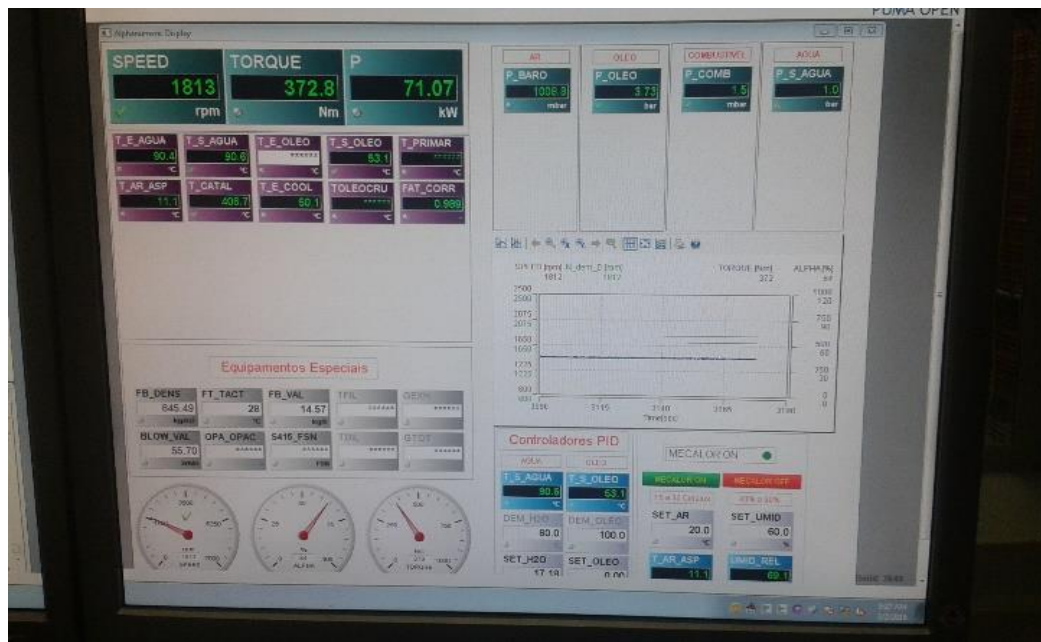
XIII. Software de Dados AVL

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o *software* Puma AVL *Open* 1.2.1 para análise de desempenho do motor a diesel referentes a potência, torque e consumo de combustível. A Mesa Dinamométrica (Figura 37) fica instalada no ambiente externo à Sala Dinamométrica e controla o dinamômetro conectado ao motor a diesel. Neste controlador encontra-se instalado o *software* Puma AVL *Open* 1.2.1 (Figura 38).

Figura 37 - Mesa de Controle Motor-Dinamômetro

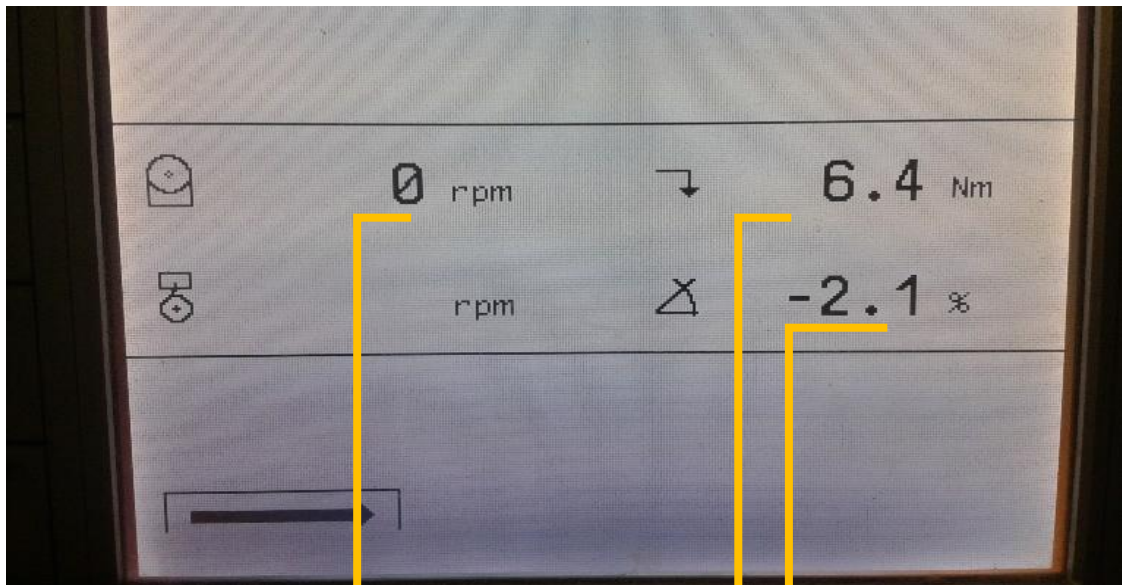


Figura 38 - Interface - Software Puma AVL Open 1.2.1



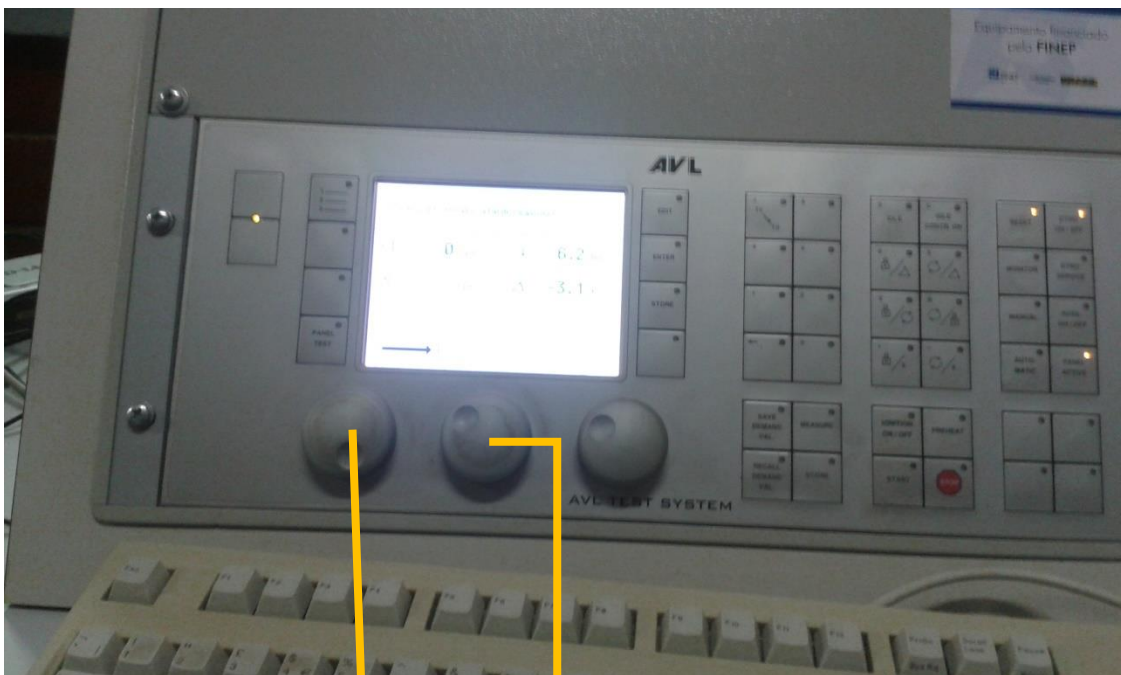
O visor de controle do dinamômetro, (Figuras 39 e 40), que é realizado pelos dois botões giratórios para destinados para variar os valores das rotações, consequentemente do torque, e da carga do motor, também denominado de carga de rampa.

Figura 39 - Visor de Comando de Rotação, Torque e Carga do Motor-Dinamômetro



Marcador de Rotação ← **Marcador de Torque** ← **Marcador de Pedal**

Figura 40 - Visor de Comando de Rotação, Torque e Carga do Motor-Dinamômetro



Botão de Controle da Rotação e Torque → **Botão de Controle do Pedal de Carga**

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios de motor na bancada dinamométrica, segundo a norma ABNT 1585, seguiram com os testes iniciando-se com rotação máxima, 2400 rpm, com decaimento gradativo de 100 rpm até atingir a rotação mínima de 1000 rpm, onde foram tomadas as medidas das variáveis dependentes de potência, torque e consumo de combustíveis.

Variáveis dependentes e variáveis independentes da rotação do motor, médias das amostras para os combustíveis Diesel e biodiesel B-20, B-50 e B-100 foram levantadas, dando suporte à construção das curvas de desempenho analisadas neste capítulo.

Para tanto, no tópico 5.1 “Análise de Desempenho Máximo” foram levantadas as medidas de potência e torque máximos e consumo mínimo de combustível, para todos os combustíveis ensaiados, observados nas quinze rotações de 2400 rpm a 1000 rpm.

Já nos tópicos 5.2 “Potência Média de Combustíveis”, 5.3 “Torque Médio de Combustíveis” e 5.4 “Consumo Médio de Combustíveis” as médias foram tomadas entre as três amostras rodadas para cada um dos giros rotacionais de 2400 rpm a 1000 rpm e observados seus respectivos desempenhos médios alcançados.

Noutra avaliação, foram realizadas no tópico 5.5 “Análise dos Gases de Exaustão” relativo aos subtópicos 5.5.1 “FSN – *Filter Smoke Number*”, 5.5.2 “Fuligem – Material Particulado” e 5.5.2 “Nível de Poluição” as médias das amostras dos gases da queima de cada um dos combustíveis ensaiados, nas suas devidas rotações na variação de 2400 rpm a 1000 rpm relacionando os resultados obtidos com os desempenhos alcançados.

Por fim, no tópico 5.6 “Dados Estatísticos – Análise da Variância” foram observados estatisticamente se os resultados de desempenho diferiram ou não significativamente entre si, para os tópicos analisados 5.6.1 “Potência nas Rotações 2300 rpm e 1000 rpm”, 5.6.2 “Torque nas Rotações 1000 rpm e 1800 rpm” e 5.6.3 “Consumo nas Rotações 1000 rpm e 2300 rpm”.

5.1 Análise do Desempenho Máximo do Motor

A potência máxima desenvolvida foi identificada na rotação de 2300 rpm e torque máximo desenvolvido na rotação de 1800 rpm e consumo mínimo de combustível nas rotações 1000 rpm e 2400 rpm, observados para todos os combustíveis Diesel, B-20, B-50 e B-100 (tabela 4). Portanto, com o uso de B-20 (83,67 kW) e o Diesel S-10 (83,37 kW), houve uma diferença de apenas 0,3 kW (0,4%). Já para o torque, o Diesel (383,67 N.m) e o B-20 (381,67 N.m) foi verificado uma variação de 2,0 N.m (0,5%), num estudo comparativo entre os dois combustíveis, algo já previsto nas literaturas.

Castellanelli *et al.* (2008), afirmaram que o comportamento do B20 foi superior ao diesel, ao analisarem as curvas de potência, Torque e Consumo de Combustível, ainda que tenha os biocombustíveis tenham apresentado consumo superior ao diesel. Na rotação máxima 2400 rpm, entre todas as rotações, destacaram-se o consumo máximo de combustível foi verificado para o B-100 (35,14 kg/h) e o consumo mínimo o diesel (7,97 kg/h).

Na rotação mínima 1000 rpm, o consumo máximo de combustível foi verificado para o B-100 (26,47 kg/h) e o consumo mínimo para o diesel (7,97kg/h) a 2400 rpm. Este resultado apresentado se deve, como esperado, pelo fato de o B-100 a baixa rotação apresentar alta viscosidade a baixa temperatura e por possuir alta densidade, em relação ao diesel, o que promove maior consumo de combustível (Tabela 4).

Tabela 4 - Desempenho Máximo para os Combustíveis na triplicata das Amostras

	Potência Máxima (kW)	Torque Máximo (N.m)	Consumo Mínimo (kg/h)
Diesel	83,37 (2300 rpm)	383,67 (1800 rpm)	7,97 (2400 rpm)
B-20	83,67 (2300 rpm)	381,67 (1800 rpm)	12,63 (1000 rpm)
B-50	81,13 (2300 rpm)	371,00 (1800 rpm)	19,17 (1000 rpm)
B-100	78,77 (2300 rpm)	365,33 (1800 rpm)	26,47 (1000 rpm)

No Apêndice III (Tabela 49) observou-se que, com o acréscimo da concentração de biodiesel ao diesel e o B-100, ocorreram também o aumento do consumo de combustível. Maiores concentrações de biocombustível, tende a aumentar o consumo e umas dessas causas é o elevado índice de viscosidade, apresentado principalmente em B-100.

Conforme Ali *et al.* (2016), o biodiesel apresenta elevado viscosidade cinemática, o que leva a sua baixa atomização da queima, ou seja, combustão incompleta e conseqüente desgaste das peças do motor e sobrecarga ao sistema de alimentação.

Nos ensaios, a força de torção máxima ocorreu na rotação de 1800 rpm, para todos os combustíveis, fato que se explica pela melhor resposta de queima de combustível. O também elevado número de cetano presente em maiores concentrações de biocombustíveis, sendo o máximo para B-100 ocorre o aumento do consumo de combustível, por outro lado diminui o tempo de

ignição, com resposta melhor do motor proporcionando menor quantidade de combustível na câmara de combustão e mistura mais regular ar/combustível com a queima mais completa.

O diesel apresentou o menor consumo de combustível, 7,97 kg/h, o que se justifica por possuir maior poder calorífico entre os demais combustíveis favorecendo, ainda, pela menor densidade de fluido combustível. O maior PCI do diesel, resultou em menor consumo de combustível e maior desempenho 83,37 kW e o B-20, 83,67 kW, porém este com consumo de combustível na ordem de 26,47 kg/h.

Isto afeta diretamente a potência do motor e pode ser observado com a queda de potência à medida que se acrescenta maior quantidade de biocombustível na mistura ao diesel comercial, valendo lembrar que este já se encontra atualmente com 7% de biocombustível. Mas, é evidente a diferença mínima ou praticamente igual as potências máximas desenvolvidas pelos combustíveis, diesel e B-20, sugerindo-se que até certa porcentagem de mistura de biocombustível ao diesel não há alteração significativa de potência do motor.

Observou-se que o gradiente de torque do diesel (testemunha) para com os B-20, B-50 e B-100 de 2 N.m, 12,67 N.m e 18,34 N.m, respectivamente. E na velocidade de 1800 rpm, o autor observou a diferença máxima dos torques medida entre diesel e B-20, B-50 e B-100 foram de 2,2%, 4% e 5%, respectivamente.

5.2 Potência Média das Curvas para Determinados Combustíveis

A tabela 5 apresenta as médias das potências (kW) e os Desvios Padrões (D.P.) para os combustíveis Diesel, B-20, B-50 e B-100, tomadas na triplicata de suas amostras, observadas as suas respectivas rotações, no Apêndice III (Tabela 47).

Os desvios padrões apresentaram valores baixos para todas as rotações e para todos os combustíveis observados, exceto, para o Diesel na rotação de 2400 rpm, onde o desvio medido foi de 10,42 na potência média de 23,97 kW. O elevado desvio padrão, neste nível rotacional para o Diesel foi devido à queda brusca de potência média e máxima de 83,37 kW a 2300 rpm para a potência média e mínima a 2400 rpm.

Observou-se que, da rotação 2300 rpm a 1000 rpm, ocorreram decaimento de potência média para todos os combustíveis, com destaques para o diesel e o B-20 apresentando os maiores valores para todos os níveis rotacionais. Na rotação de 2400 rpm, todos os combustíveis apresentaram menor potência média, sendo que o diesel com menor valor verificado de 23,97 kW.

Ao analisar os combustíveis em cada um dos 15 giros, todos apresentaram resultado próximos nas médias das potências, percebido na regularidade dos desvios padrões, portanto, demonstrando elevado grau de confiabilidade. Todavia, como supracitado o diesel na rotação de 2400 rpm com

menor potência média adquirida, ainda que tenha apresentado um coeficiente de dispersão de 10,42%, não se justifica uma tomada de decisão quanto aos ensaios devido à baixa oscilação dos demais analisados.

Tabela 5 - Potência Média (kW) dos Combustíveis na triplicata das Amostras

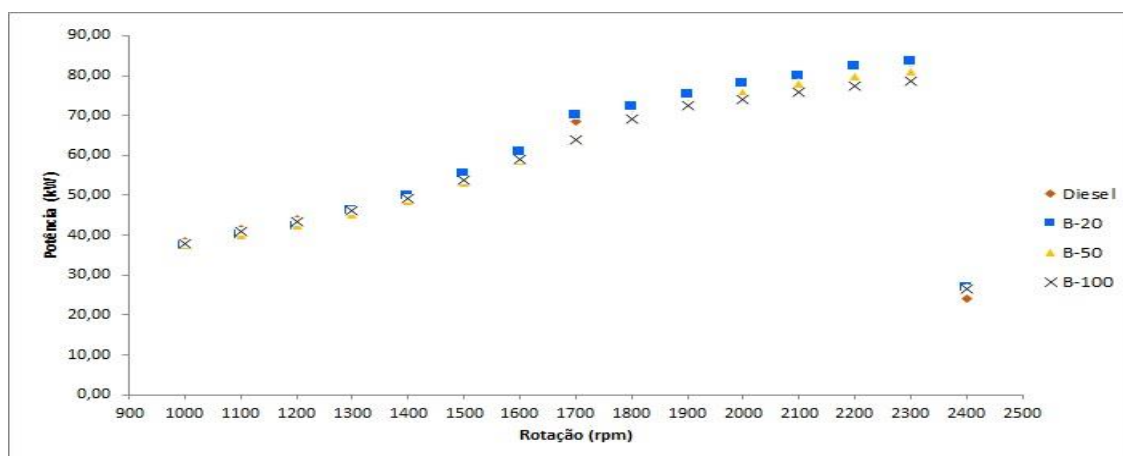
Rotações (rpm)	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P	Md.	D.P	Md.	D.P	Md.	D.P
2400	23,97	10,42	26,97	2,57	26,63	1,58	26,67	1,29
2300	83,37	0,55	83,67	0,58	81,13	0,81	78,77	1,08
2200	78,87	5,79	82,30	0,10	79,97	1,39	77,30	0,36
2100	79,87	0,35	79,93	0,12	77,87	0,91	75,90	0,66
2000	78,00	0,46	78,07	0,81	75,77	0,64	74,13	0,32
1900	75,77	0,38	75,23	0,32	73,13	0,76	72,43	0,68
1800	71,87	0,21	72,13	0,49	69,83	0,81	69,03	0,51
1700	68,63	5,87	70,00	5,90	64,47	0,67	63,83	0,83
1600	60,30	0,17	61,00	0,20	58,67	0,97	59,07	1,37
1500	55,63	0,23	55,50	0,53	53,27	0,95	53,90	1,22
1400	50,03	0,45	49,80	0,72	48,70	0,62	49,33	0,81
1300	46,80	0,26	46,23	0,55	45,30	0,75	46,13	0,70
1200	43,90	0,26	42,23	0,59	42,33	0,92	43,43	0,70
1100	41,63	0,23	40,07	0,60	40,03	0,67	41,07	0,57
1000	38,35	0,07	37,20	0,35	37,43	0,61	37,83	0,35

Para os desvios padrões médios de todas as rotações e combustíveis, observou-se que o Diesel apresentou D.P. = 0,35, o B-20 D.P. = 0,55, o B-50 D.P. = 0,81 e o B-100 D.P. = 0,70 sendo que o Diesel, ainda que tenha apresentado elevado desvio padrão nas rotações 1700 rpm (D.P. = 5,87) e 2400 rpm (D.P. = 10,42), foi observado que este combustível obteve menor desvio padrão médio, no entanto todos os combustíveis alcançaram baixos valores de desvios padrões médios.

Observou-se, ainda, que o Diesel apresentou maior relação em porcentagem em comparação aos demais combustíveis, devido ao fato de apresentar elevado desvio padrão a 2400 rpm, sugestivo de corte de fornecimento de combustível de Diesel e para os biodieseis pela característica a elevada rotação; à rotação máxima o Diesel demonstrou uma relação de 43,47%, o B-20 uma relação de 9,52%, o B-50 de 5,93% e o B-100 com 4,48%, enquanto que à rotação mínima o Diesel demonstrou uma relação de 0,18%, o B-20 uma relação de 0,94%, o B-50 de 1,62% e o B-100 com 0,92%.

Já pela Figura 41 observou-se que, com o aumento rotacional há um aumento da potência média, semelhantemente para todos combustíveis, visto que os pontos das curvas praticamente sobrepõem ao longo das trajetórias das linhas. Fato excedente da rotação de 2400 rpm para 2300 rpm, onde verificou-se o aumento considerável da potência média ocorrido a todos os combustíveis ensaiados. A sua baixa potência média e mínima para todos os combustíveis se deve ao corte de combustível pela bomba, situação da característica apresentada pela bomba injetora de combustível, quando se encontra em velocidade rotacional acima de 2300 rpm, já que possui um limitador de velocidade, não alimentando o motor com combustível.

Figura 41 - Potência Média entre combustíveis na triplicata das Amostras



5.3 Torque Médio das Curvas para Determinados Combustíveis

A Tabela 6, representa medições de torque médio (N.m), para cada um dos combustíveis diesel, B-20, B-50 e B-100, na triplicata das amostras, para suas respectivas rotações.

Observados os níveis de giro de 2300 rpm a 1000 rpm, verificou-se que ocorreu aumento gradativo do torque médio entre todos os combustíveis, até a rotação de 1800 rpm, na qual observou-se a tomada máxima de torque, para todos os combustíveis pesquisados. A partir de 1800 rpm até 1200 rpm, a situação se inverte com queda gradativa dos torques médios para todos os combustíveis ensaiados e, de 1200 rpm a 1000 rpm, o aumento do torque médio para todos os combustíveis.

Tabela 6 - Torque Médio dos Combustíveis na triplicata das Amostras

Rotações (rpm)	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.
2400	95,33	42,19	107,67	7,77	107,67	6,81	101,33	4,62
2300	345,00	5,00	346,67	3,21	336,67	3,06	325,33	5,03
2200	358,00	1,73	356,33	1,15	346,33	5,13	335,67	2,89
2100	359,33	5,03	364,00	1,00	352,33	3,21	340,80	7,23
2000	372,00	2,65	372,33	4,93	360,67	4,62	353,00	2,65
1900	379,67	2,08	377,67	2,52	368,00	5,20	363,33	3,51
1800	383,67	3,21	381,67	1,15	371,00	3,61	365,33	2,31
1700	370,00	0,00	377,00	4,36	364,33	6,66	357,33	5,13
1600	362,00	3,46	367,00	5,57	349,00	4,58	352,00	6,24
1500	354,33	0,58	353,00	2,65	340,67	7,09	345,33	9,61
1400	340,67	1,15	339,33	4,93	333,00	2,65	335,33	6,35
1300	341,67	2,89	340,67	4,51	334,00	6,00	338,67	5,13
1200	349,67	0,58	336,33	4,51	334,67	8,08	345,67	5,86
1100	360,00	4,36	348,67	5,69	346,00	6,56	357,33	5,03
1000	366,67	5,77	356,33	3,51	362,00	10,44	361,07	4,00

Observou-se que, tanto para o torque médio quanto para a potência média, os combustíveis Diesel e B-20 apresentaram semelhanças entre si com tomadas de medidas superiores a B-50 e a B-100. Os desvios padrões apresentaram valores baixos para todas as rotações e para todos os combustíveis observados, exceto, para o Diesel na rotação de 2400 rpm, onde o desvio medido foi de 42,19 no torque médio de 95,33 N.m. O elevado desvio padrão, neste nível rotacional para o Diesel foi devido à queda brusca de potência média, o que influenciou diretamente na queda de torque médio de 345 N.m, a 2300 rpm, para o torque médio e mínimo a 2400 rpm.

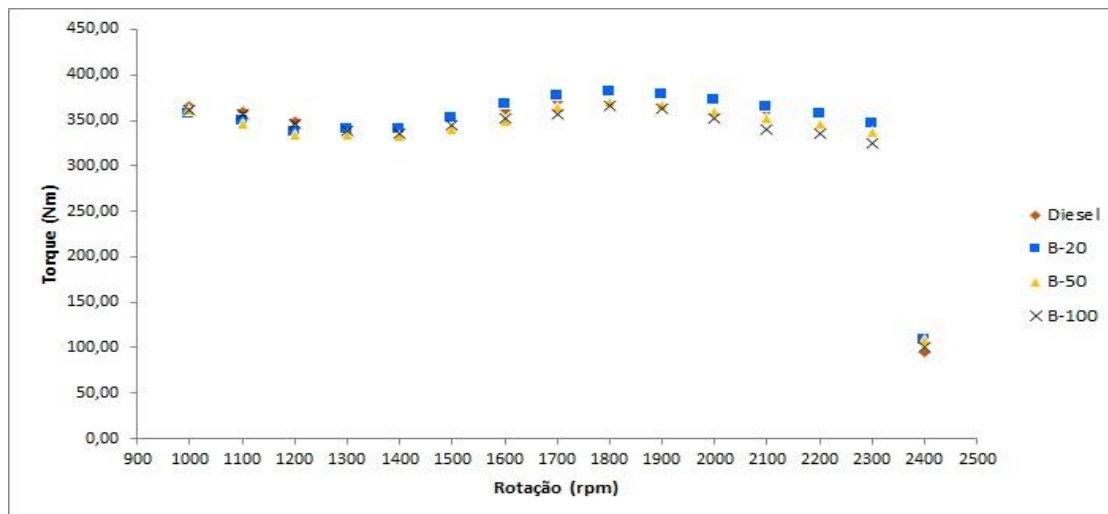
Para os desvios padrões médios de todas as rotações em seus respectivos torques médios de todos os combustíveis, observou-se que o Diesel apresentou D.P. = 2,89, o B-20 com valor de D.P. = 4,36, o B-50 com D.P. = 10,44 e o B-100 com medida D.P. = 5,03 sendo que o Diesel apresentou

menor desvio padrão observado, enquanto que o B-100 com valor médio máximo no desvio padrão; ainda, o aumento deste valor à medida em que se aumentou a concentração de biodiesel ao diesel.

Na rotação máxima, foi verificado que a relação entre desvio padrão e o torque médio apresentou 44,25% para o Diesel, 7,15% para o B-20, 6,32% para o B-50 e 4,55% para o B-100. Logo, observou-se que o Diesel apresentou maior relação em porcentagem em comparação aos demais combustíveis, devido ao fato de apresentar elevado desvio padrão a 2400 rpm, sugestivo de corte de fornecimento de combustível Diesel pela bomba injetora e para os demais combustíveis ser característica do biodiesel; enquanto que à rotação mínima o Diesel demonstrou uma relação de 1,57%, o B-20 uma relação de 1,61%, o B-50 de 2,88% e o B-100 com apenas 1,10%.

A Figura 42, demonstra que da rotação de 1000 rpm a 1400 rpm, houve queda gradativa do torque médio, entre os combustíveis, sendo que os combustíveis diesel e B-20 apresentaram semelhanças e alternâncias entre si nos valores de torques médios, enquanto que B-50 indicou o menor valor de torque médio.

Figura 42 - Torque Médio entre combustíveis na triplicata das Amostras



Na sequência de 1400 rpm a 1800 rpm, o gráfico se apresenta linearmente crescente os valores tomados do torque médio e de 1800 rpm a 2300 rpm a curva característica do gráfico se apresenta decrescente com queda gradativa do torque médio entre os combustíveis.

Mas em geral, entre 1000 rpm a 2300 rpm os combustíveis apresentaram semelhanças entre si com variações gradativas nos valores dos torques médios, com pequenas oscilações, ou seja, elevações e quedas de torques médios. Como verificado na potência média entre os combustíveis, o torque médio entre eles também apresentou decaimento crítico na variação de rotação de 2300 rpm a 2400 rpm.

Para a rotação de 2400 rpm, o diesel apresentou coeficiente de dispersão 42,19, enquanto os biocombustíveis apresentaram baixa oscilação nos desvios padrões. Nas demais rotações, os desvios padrões observados mantiveram-se com valores próximos, demonstrando baixa dispersão ou regularidade nas medidas tomadas.

Assim como ocorrido com a potência média, da rotação de 2400 rpm para a rotação 2300 rpm, foi observado também com o torque médio em que houve redução brusca, respectivamente, de 345 N.m para 95,33 N.m, devido ao limitador de velocidade do motor aplicado pela bomba injetora cortando o fornecimento de combustível a partir de 2300 rpm e, conseqüentemente, o motor girando somente pelo giro do dinamômetro. Da velocidade rotacional de 1900 rpm a 2100 rpm, observou-se uma queda significativa do torque para todos os combustíveis, sendo que os pontos das curvas se sobrepõem indicando as tomadas das medidas não diferem estatisticamente entre si.

5.4 Consumo Médio das Curvas para Determinados Combustíveis

A tabela 7 representa o consumo médio de combustíveis para a triplicata das amostras, sendo observado que de 2300 rpm a 1000 rpm o decaimento gradativo do consumo para todos os combustíveis ensaiados, significando que houve menor consumo na queda de giro-motor. Com relação aos desvios padrões dos combustíveis observados, o diesel apresentou menor desvio padrão e com aumento deste acompanhado do aumento da concentração de biodiesel.

E para quaisquer rotações observadas, houve aumento do consumo de combustível, à medida em que se aumento a concentração de biocombustível, portanto, o motor se comportando com menor desempenho de B-20, B-50 a B-100.

Na mudança de regime de rotação de 2400 rpm para 2300 rpm, o comportamento do motor enquanto ao consumo de combustível o diesel apresentou melhor desempenho, demais combustíveis não diferiram estatisticamente entre si.

Logo, tanto na rotação máxima 2400 rpm quanto na rotação mínima de 1000 rpm o diesel apresentou o melhor desempenho em consumo de combustível, enquanto que o B-100 para os mesmos regimes observados desenvolveu o menor desempenho.

Embora que tenha se observado queda de desempenho em potência média e aumento de desempenho em torque médio, vale destacar que nas rotações de 1700 rpm a 1000 rpm o diesel tenha se apresentado mais econômico.

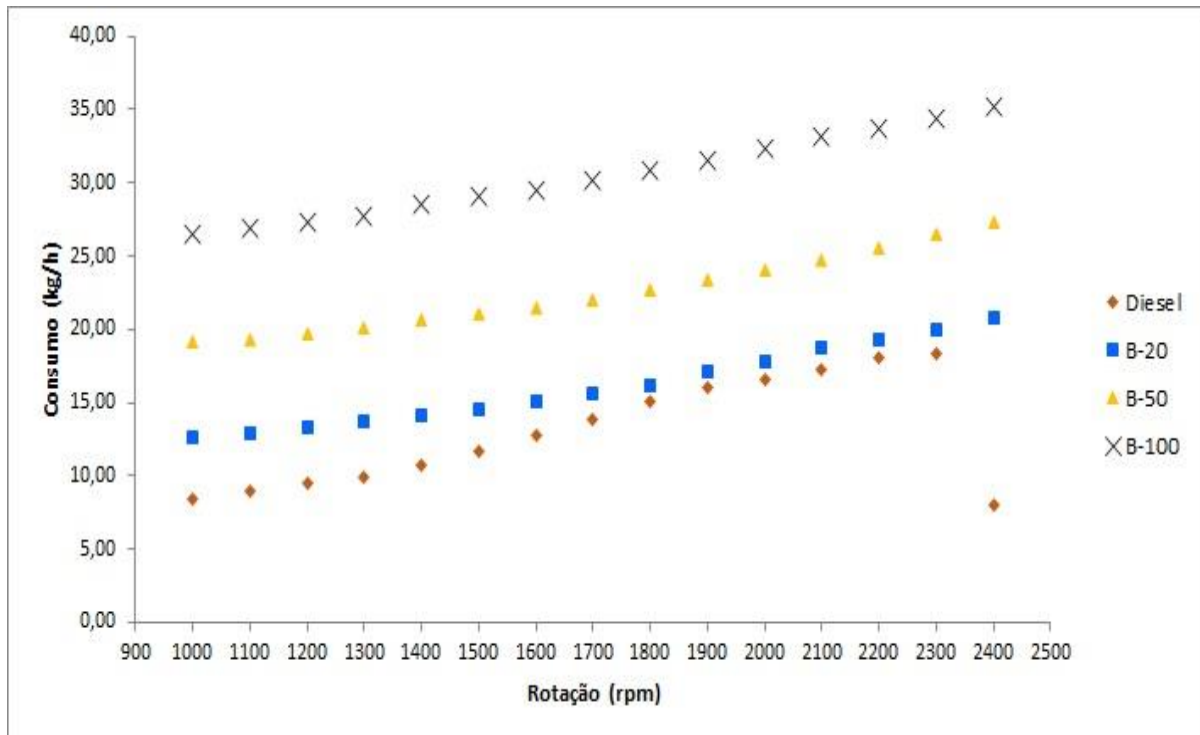
Tabela 7 - Consumo Médio de Combustíveis na triplicata das Amostras

Rotações (rpm)	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.
2400	7,97	1,95	20,80	9,11	27,37	11,98	35,14	11,79
2300	18,37	0,21	20,03	9,09	26,57	11,86	34,40	11,76
2200	18,03	0,06	19,27	9,14	25,50	11,48	33,77	11,90
2100	17,30	0,10	18,73	8,96	24,77	11,44	33,10	11,55
2000	16,63	0,06	17,80	9,23	24,10	11,45	32,37	11,64
1900	16,07	0,12	17,13	9,19	23,42	11,47	31,50	11,72
1800	15,13	0,06	16,23	9,44	22,67	11,66	30,90	11,86
1700	13,83	0,06	15,63	9,34	22,03	11,61	30,13	11,65
1600	12,73	0,06	15,07	9,31	21,53	11,61	29,53	11,65
1500	11,73	0,06	14,60	9,19	21,07	11,62	29,03	11,71
1400	10,70	0,10	14,13	9,25	20,60	11,67	28,60	11,66
1300	9,87	0,06	13,67	9,21	20,13	11,58	27,70	12,24
1200	9,47	0,06	13,37	9,21	19,73	11,58	27,30	12,24
1100	8,97	0,06	12,97	9,21	19,33	11,51	26,90	12,24
1000	8,43	0,06	12,63	9,24	19,17	11,36	26,47	12,29

Na Figura 43, representativa dos consumos médios dos combustíveis, é perceptível a convergência dos pontos da curva do diesel aos do B-20, traçando um paralelismo dos pontos das curvas em torno das rotações de 1700 rpm a 2300 rpm.

Ao avaliar todas as curvas de desempenho de consumo médio de combustível, o menor ponto da curva B-100 (26,47 kg/h a 1000 rpm) posiciona-se acima do ponto da curva de consumo de B-50 (20,80 kg/h a 2400 rpm) e o B-100 (35,14 kg/h a 2400 rpm) maior consumo médio.

Observadas as curvas de consumo médio para B-20, B-50 e B-100, todas se comportaram em linhas paralelas e crescentes, demonstrando que a variação do consumo médio apresentou valor igual entre si, sendo o B-20 se destacando o mais econômico.

Figura 43 - Consumo Médio entre combustíveis na triplicata das Amostras

O diesel com consumo médio mínimo de 7,97 kg/h (2400 rpm), sendo o mais econômico entre os combustíveis e consumo médio máximo de 18,37 kg/h (2300 rpm), valor este aproximado pelo B-20 (18,73 kg/h) a aproximadamente 2100 rpm.

Pela tabela 7 anterior, o desvio padrão para o consumo médio de combustível entre os combustíveis analisados, observou-se que para todos os níveis de rotação, para determinado tipo de combustível houve regularidade nos desvios padrões, sendo que a dispersão se apresentou crescente do diesel para o B-20, B-50 e B100. Porém, entre os combustíveis e em todas as rotações observados, não houve dispersão elevada ou oscilação que considerasse elevada variação nos desvios padrões das médias dos consumos de combustíveis.

Para os desvios padrões médios de todas as rotações em seus respectivos consumos médios de todos os combustíveis, observou-se que o Diesel apresentou D.P. = 0,06, o B-20 com valor de D.P. = 9,21, o B-50 com D.P. = 11,58 e o B-100 com medida D.P. = 11,76 sendo que o Diesel apresentou menor desvio padrão observado, enquanto que o B-100 com valor médio máximo no desvio padrão. Na rotação máxima, foi verificado que a relação entre desvio padrão e o consumo médio apresentou 24,46% para o Diesel, 43,79% para o B-20, 43,77 % para o B-50 e 33,55% para o B-100; enquanto que à rotação mínima o Diesel demonstrou uma relação de 0,71%, o B-20 uma relação de 73,15%, o B-50 de 59,20% e o B-100 com apenas 46,40%.

Na rotação máxima de 2400 rpm o motor se comportou com elevado consumo de biodiesel, com o aumento da concentração de biodiesel, porém e somente o Diesel com queda de consumo médio apresentando nesta rotação mais economicamente entre todos os combustíveis em todas as rotações observadas. Esta queda de consumo pode-se explicar pelo corte de combustível pela bomba injetora, não ocorrendo entre os biodieseis devido ao sistema de alimentação não ocorrer pela bomba injetora, e sim, pelo sistema de bombeamento adaptado ao motor, evitando-se, assim, o desgaste prematuro dos componentes deste sistema de alimentação.

5.5 Análise dos Gases de Exaustão

Nos tópicos seguintes referem-se às medidas das triplicatas das amostras do número de fumaça médio, da fuligem e do nível de poluição ocorridas nos ensaios de desempenho do motor diesel. Estas três variáveis supracitadas, são importantes para a análise de comportamento dos combustíveis diesel comercial e dos biocombustíveis B-20, B-50 e B-100.

Tal comportamento tende a verificar os benefícios apresentados por estes combustíveis alternativos e renováveis de origem vegetal, quanto à diminuição dos efeitos da poluição dos gases gerados pela queima de combustíveis aplicados em motores a injeção por compressão e assim diminuir a dependência ao emprego contínuo de combustíveis fósseis.

Pode-se comprovar os efeitos benéficos pela diminuição dos gases nocivos à saúde pública e melhorias ambientais com o uso de biocombustíveis é por intermédio das análises dos próprios gases poluente gerados pela queima dos hidrocarbonetos. Neste sentido, nos ensaios ocorridos foram, portanto, analisadas as medidas das variáveis já citadas com o uso do equipamento denominado AVL 415S *Smoke Meter* e suas unidades de medida para verificação da fumaça exalada pela queima dos combustíveis analisados. Segundo Souza et al. (2015), O *Smoke Meter* AVL 415S é um filtro do tipo medidor de fumaça para medir o teor de fuligem nos gases de escape de diesel.

Ainda os autores supracitados, a medição do *Smoke* ocorre da seguinte forma: uma taxa de fluxo definido é amostrada no tubo de escape através de um papel de filtro limpo no instrumento. A fuligem filtrada provoca o enegrecimento do papel de filtro, que é detectado por uma cabeça de medição fotoelétrica e avaliados no microprocessador para calcular o resultado em FSN ou mg/m³.

Confirmam, ainda, que o AVL 415S *Smoke Meter* possui três diferentes unidades de saída, são elas: o FSN (*Filter Smoke Number*), mg/m³ (Teor de fuligem) e nível de poluição em %, possui resolução de 0,001 FSN e 0,01 mg/m³ com limites de medição de 0 a 10 FSN.

5.5.1 FSN – Número de Fumaça do Filtro

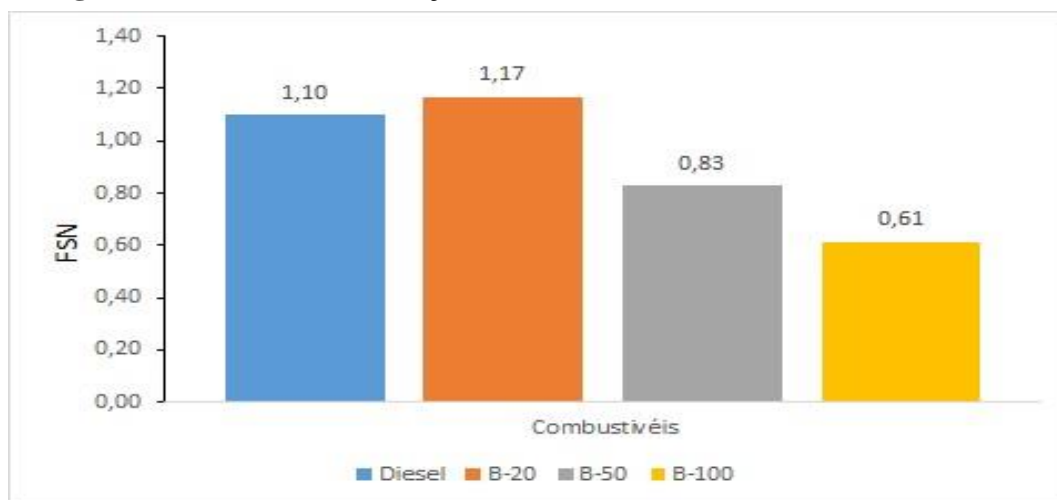
Pela Tabela 8, ao analisar a medida do número de fumaça do filtro (FSN) pode-se concluir que esta medida se manteve com valores muito semelhantes entre os combustíveis diesel e B-20, não diferindo de forma significativa em todas as rotações tomadas como referências.

Tabela 8 - Número de Fumaça Médio na Triplicata das Amostras

FSN – Média (Md.) e Desvio Padrão (D.P.) nas Rotações (rpm)								
Rotações	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.
2400	0,16	0,03	0,14	0,01	0,11	0,02	0,07	0,02
2300	0,44	0,03	0,36	0,02	0,25	0,02	0,11	0,01
2200	0,44	0,03	0,40	0,04	0,24	0,01	0,11	0,01
2100	0,44	0,02	0,46	0,08	0,23	0,02	0,11	0,01
2000	0,49	0,04	0,50	0,04	0,26	0,02	0,15	0,01
1900	0,56	0,03	0,55	0,03	0,29	0,01	0,16	0,03
1800	0,63	0,04	0,69	0,02	0,36	0,04	0,21	0,05
1700	0,72	0,06	0,83	0,02	0,44	0,03	0,27	0,04
1600	0,87	0,08	1,03	0,03	0,58	0,03	0,37	0,08
1500	1,12	0,02	1,34	0,04	0,75	0,02	0,54	0,12
1400	1,35	0,04	1,49	0,28	1,02	0,09	0,76	0,18
1300	1,79	0,03	1,95	0,06	1,41	0,16	1,04	0,17
1200	2,23	0,07	2,33	0,12	1,87	0,08	1,53	0,17
1100	2,58	0,01	2,66	0,13	2,32	0,16	1,84	0,17
1000	2,64	0,05	2,79	0,11	2,30	0,21	1,93	0,17

O FSN apresenta diminuição de seus valores à medida em que se aumenta a concentração de biocombustíveis ao diesel, ou seja, na ordem das misturas B-20, B-50 e B-100, sendo que o uso de 100% com a menor tomada de valores entre todas as rotações. No entanto, a tomada de medida apresentou aumento do número de fumaça médio, à medida em que se aumento diminuiu o giro do motor, situação verificada para todos os combustíveis.

Quanto ao desvio padrão, todos os combustíveis ensaiados responderam com baixa oscilação nos valores, destacando-se com maiores porcentagens na ordem o B-20 (2,79% - 1000 rpm), o diesel (2,64% - 1000 rpm), o B50 (2,30% - 1000 rpm) e o B-100 (1,93% - 1000 rpm). Para os menores valores do número de fumaça na ordem o B-100 (0,07% - 2400 rpm), o B50 (0,11% - 2400 rpm) e o B-20 (0,16% - 2400 rpm). A Figura 44, apresenta a tomada de medida para a média do FSN para cada combustível analisado e o maior número de fumaça FSN = 1,17 (B-20) e o menor FSN = 0,61 (B-100), onde os níveis de poluição demonstrados foram bastante baixos, tomando como referência o limite máximo de FSN = 10 do equipamento AVL 415S *Smoke Meter*.

Figura 44 - Número de Fumaça do Filtro

5.5.2 Fuligem – Material Particulado

Tabela 9 - Fuligem Média na Triplicata das Amostras

Rotações (rpm)	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.
2400	2,12	0,37	1,76	0,10	1,44	0,30	0,88	0,22
2300	6,54	0,45	5,10	0,18	3,45	0,29	1,53	0,05
2200	6,41	0,42	5,72	0,61	3,32	0,14	1,50	0,06
2100	6,47	0,28	6,80	1,37	3,06	0,23	1,53	0,17
2000	7,35	0,54	7,46	0,84	3,62	0,32	1,93	0,19
1900	8,58	0,49	8,33	0,63	4,02	0,12	2,12	0,46
1800	9,75	0,67	11,08	0,59	5,23	0,60	2,83	0,62
1700	11,71	1,25	13,97	0,44	6,47	0,49	3,82	0,58
1600	15,06	1,69	18,56	0,59	8,89	0,56	5,24	1,24
1500	20,95	0,62	27,03	0,76	12,29	0,47	8,16	2,17
1400	28,43	0,68	38,66	2,49	18,47	2,21	12,64	3,64
1300	43,49	1,30	49,85	1,72	29,76	5,21	19,10	4,08
1200	64,05	4,22	69,37	6,50	47,26	3,17	33,96	5,54
1100	84,53	0,49	90,12	9,16	68,90	8,64	45,59	7,22
1000	88,66	3,27	98,48	7,52	68,36	11,20	49,77	7,18

A análise de fumaça quanto ao teor fuligem detectada no equipamento *Smoke Meter*, a unidade de medida de saída utilizada foi dada ou medida pela relação entre a quantidade em massa e o volume ocupado pelo material gerado pela queima de combustível, ou seja, a tomada em mg/m^3 .

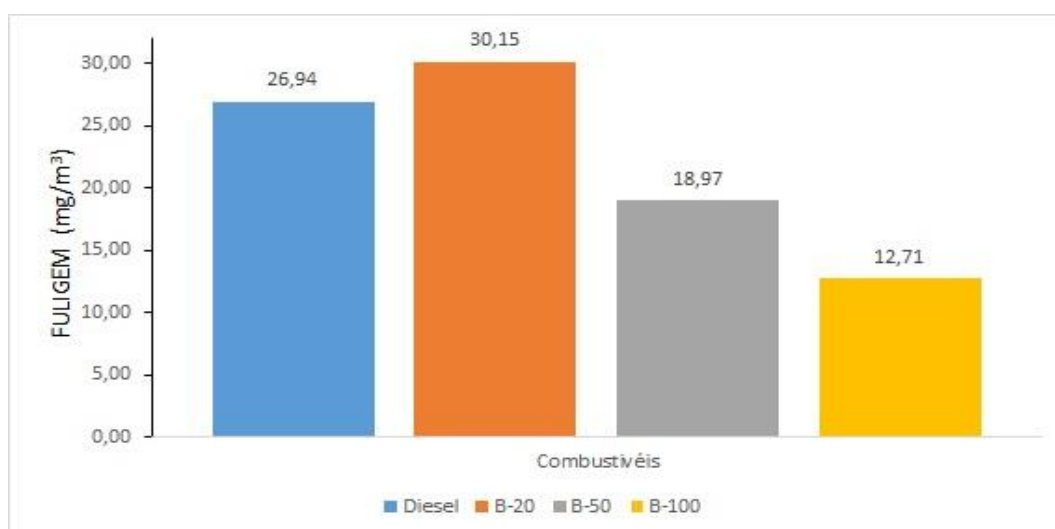
Dos resultados observados, Tabela 9, anteriormente, verificou-se que na triplicata das amostras a concentração máxima de fuligem fora detectado pelo B-20 ($98,48 \text{ mg/m}^3 - 1000 \text{ rpm}$), seguidos pelos combustíveis diesel ($98,48 \text{ mg/m}^3 - 1000 \text{ rpm}$), B-50 ($68,36 \text{ mg/m}^3 - 1000 \text{ rpm}$) e

(98,48 mg/m³ – 1000 rpm), B-100 (49,77 mg/m³ – 1000 rpm) sendo que a menor média de fuligem tomada na medida para o B-100 (0,88 mg/m³ – 2400 rpm).

Enquanto ao desvio padrão, em geral, os valores não diferem estatisticamente entre todos os combustíveis e em todas as velocidades rotacionais analisadas. Observa-se, ainda, que o maior e menor desvio padrão médio foi tomado para o B-50 (D.P. = 11,20 - 1000 rpm) e para o B-100 (D.P. = 0,05 - 2300 rpm), respectivamente.

Numa análise gráfica, conforme a Figura 45, demonstra claramente e expressivamente o decaimento do nível de fuligem, à medida em que acrescenta biocombustível na mistura com o diesel; ainda que o B-20 tenha sofrido uma pequena elevação da concentração de fuligem em relação ao diesel.

Figura 45 - Fuligem



Porém, vale ressaltar que em rotações baixas todos apresentaram baixo nível de fuligem, com o B-100 medido com níveis insignificantes de fuligem, como é o valor medido de 0,88 mg/m³, na rotação de 2400 rpm, com valores para os biocombustíveis em geral bem abaixo que o diesel comercial.

5.5.3 Nível de Poluição

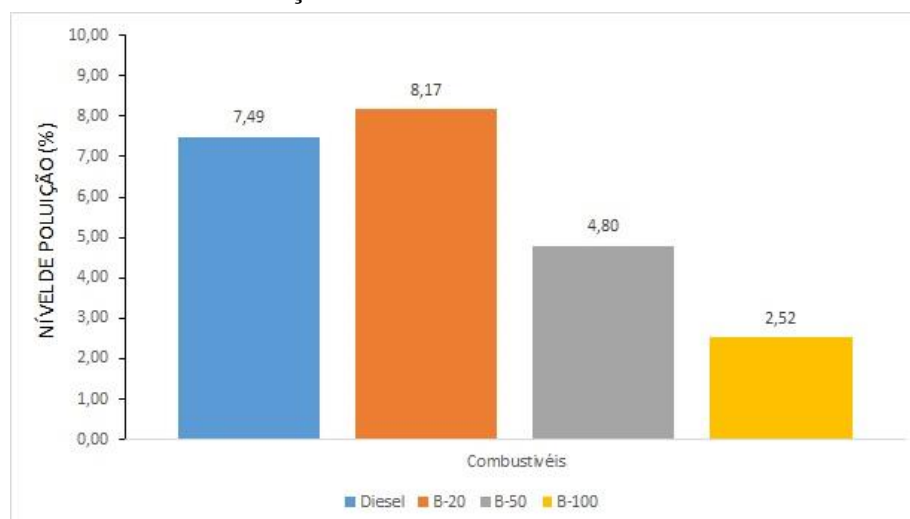
A terceira e última unidade de medida poluição avaliada nos ensaios foi o nível de poluição, em %, gerado pelos gases da queima dos quatro combustíveis observados nos diferentes níveis rotacionais do motor a diesel.

Observada a Tabela 10, percebe-se que o nível de poluição torna representativo a partir da velocidade rotacional de 1200 rpm, com elevação brusca para todos os combustíveis ensaiados, inclusive o diesel com tomada de medida máxima e superior a todos os outros combustíveis, cujo valor registrado de 23,03 % (1000 rpm) de poluição.

Tabela 10 - Nível de Poluição Média na Triplicata das Amostras

Rotações (rpm)	Diesel		B-20		B-50		B-100	
	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.	Md.	D.P.
2400	1,90	0,26	2,17	0,06	2,43	0,15	2,83	0,15
2300	1,05	0,21	0,07	0,12	0,70	0,56	2,37	0,06
2200	0,83	0,23	0,47	0,38	1,10	0,10	2,37	0,06
2100	0,90	0,10	1,03	0,76	1,23	0,15	2,37	0,12
2000	1,33	0,40	1,47	0,40	0,90	0,17	2,07	0,15
1900	2,07	0,25	1,92	0,36	0,63	0,06	1,90	0,35
1800	2,70	0,36	3,35	0,30	0,13	0,38	1,43	0,45
1700	3,63	0,61	4,71	0,22	0,87	0,32	0,77	0,40
1600	5,20	0,69	6,63	0,25	2,23	0,32	0,10	0,79
1500	7,57	0,21	9,72	0,20	3,93	0,21	1,77	1,21
1400	10,17	0,25	13,17	0,67	6,60	0,87	4,03	1,77
1300	14,40	0,30	15,92	0,42	10,53	1,53	5,50	2,39
1200	18,90	0,82	19,84	1,19	15,33	0,76	11,83	1,65
1100	22,43	0,06	21,90	2,85	19,77	1,56	14,83	1,80
1000	23,03	0,51	24,51	1,05	19,57	2,08	15,83	1,68

Todavia, o nível de poluição mais baixo observado e registrado foi para o biocombustível, a 100%, cuja medida tomada no valor de 0,10% de poluição no giro de 1600 rpm. Em termos de desvio padrão, todos os combustíveis observados não diferiram entre si, com valores de média de desvio padrão muito baixos. Numa outra perspectiva de análise dos níveis de poluição encontram-se expressos na Figura 46, onde podemos concluir os níveis de poluição mais elevados, em média, estão representados por ordem de grandeza o B-20 e o diesel, respectivamente, com os valores 8,17% e 7,49%; portanto, com tomada de medidas muito semelhantes entre si.

Figura 46 - Nível de Poluição

No aumentar a concentração de biodiesel acima de 20% na mistura com o diesel, como é o caso do B-50 ou com o uso do B-100, é expressiva e brusca o decaimento do nível de poluição, no qual o B-100 com valor da média da porcentagem de poluição com 2,52%.

Comparando-se os resultados do diesel comercial (7% biodiesel) com o biodiesel B-100, o aumento de 93% de uso de biodiesel proporcionou uma queda considerável do nível de poluição em torno de 33,64%, o que causa uma diminuição drástica dos particulados emitidos na atmosfera com melhorias da qualidade do ar.

5.5.4 Lei dos Cossenos para Análises dos Gases de Exaustão

Aplicando a Lei dos Cossenos (Produto Escalar) entre a opacidade, fuligem ou material particulado e o nível de poluição apresentados pelos combustíveis Diesel, B-20, B-50 e B-100. As tabelas 11 e 12, representam os resultados dos valores dos produtos escalares, comparativamente das médias entre:

- Opacidade (Número de Fumaça) e Fuligem (Material Particulado) – Tabela 11;
- Opacidade (Número de Fumaça) e Nível de Poluição – Tabela 12.

Tabela 11 - Opacidade (Número de Fumaça) e Fuligem (Material Particulado)

Combustíveis	Opacidade ①	Fuligem ②	① x ②	① ²	② ²
Diesel	1,100	26,940	29,634	1,210	725,763
B-20	1,170	30,150	35,275	1,368	909,022
B-50	0,830	18,970	15,745	0,688	359,860
B-100	0,610	12,710	7,753	0,372	161,544
Σ _{TOTAL}			88,407	3,266	2156,189
[Σ(① x ②)] ²			7815,797		

Para o comparativo entre Opacidade e Fuligem pode-se observar o cálculo e o resultado do produto escalar e verificar o comportamento dos gases de exaustão:

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{[\Sigma(\text{①} \times \text{②})]^2}{(\text{①} + \text{②})^2}$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{7815,797}{(3,266 + 2156,189)^2} = 1 - \frac{7815,797}{(2159,455)^2}$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{7815,797}{4663245,897} = 1 - 0,001$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 0,999$$

O resultado observado do Cosseno do Produto Escalar entre a Opacidade (Número de Fumaça) e a Fuligem (Material Particulado), foi 0,999, muito próximo de 1,0, o que pode perceber o resultado das médias dos gases de exaustão verificadas no nos gráficos de Opacidade e Material Particulado apresentaram comportamento perfeito.

Tabela 12 - Opacidade (Número de Fumaça) e Nível de Poluição

Combustíveis	Opacidade ①	Nível de Poluição ③	① x ③	① ²	③ ²
Diesel	1,100	7,490	8,239	1,210	56,001
B-20	1,170	8,170	9,559	1,368	66,748
B-50	0,830	4,800	3,984	0,688	23,040
B-100	0,610	2,520	1,537	0,372	6,350
Σ(① x ③)			23,319	3,266	152,139
[Σ(① x ③)] ²			543,775		

Para o comparativo entre Opacidade e Nível de Poluição pode-se observar o cálculo e o resultado do produto escalar e verificar o comportamento dos gases de exaustão:

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{[\Sigma(\text{①} \times \text{②})]^2}{(\text{①} + \text{②})^2}$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{543,775}{(3,266 + 152,139)^2} = 1 - \frac{543,775}{(155,405)^2}$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 1 - \frac{543,775}{24150,714} = 1 - 0,022$$

$$\text{Cosseno do Produto Escalar} = 0,978$$

O resultado observado do Cosseno do Produto Escalar entre a Opacidade e o Nível de Poluição, foi 0,978, muito próximo de 1,0, o que pode perceber o resultado das médias dos gases de exaustão verificadas no nos gráficos de Opacidade e Material Particulado apresentaram comportamento perfeito.

5.6 Dados Estatísticos – Análise da Variância

A metodologia aplicada requereu quatro tipos de tratamentos, cujos materiais foram os combustíveis Diesel Comercial S-10 adquiridos junto aos postos de combustíveis e os biodieséis B-20, B-50 e B-100, respectivamente a 20%, 50% e 100% de biocombustível de soja adquiridos junto à GRANOL, Porto Nacional, Tocantins. Como variáveis dependentes potência, torque e consumo de combustível e as independentes rotações do motor que se iniciaram com a rotação máxima de 2400 rpm até atingir a rotação mínima de 1000 rpm, num gradiente de redução de 100 rpm, com intervalo de tempo de 2 minutos na tomada das medidas.

Com os dados obtidos de potência, torque e consumo de combustíveis estatisticamente suas médias resultantes foram submetidas à Análise de Variância através da ANOVA e as médias foram ajustadas pela Regressão. Foi utilizado este modelo estatístico, pelo fato de ser um método clássico e valores adquiridos nos ensaios foram suficientes para realizar as médias e realizar comparações da existência ou não de diferenças significativas entre os tratamentos diesel e os biodieséis B-20, B-50 e B-100, com relação às variáveis potência, torque, consumo de combustível, portanto, a ANOVA veio como recurso de comparar tais médias.

A análise da variância (ANOVA) tem por finalidade comparar a variância em função dos tratamentos, com o objetivo de analisar as médias do grupo, tendo como referência a análise da variação dos dados entre grupos. Serve, portanto, para apontar as diferenças entre as médias e identificar se um grupo é estatisticamente diferente do outro ou não (MACHADO, 2008, p. 88).

5.6.1 Potência nas Rotações 2300 rpm e 1000 rpm

A Tabela 13, representa as medidas tomadas na triplicata das amostras para cada combustível na rotação de 2300 rpm, com potência máxima e idênticas entre si o diesel e o B-20 e o B-100 com a menor potência adquirida.

Tabela 13 - Potência dos Combustíveis na Triplicata das Amostras

Potência (kW) na Rotação (2300 rpm)			
Diesel	B-20	B-50	B-100
84,0	84,0	82,0	78,3
83,1	83,0	80,4	78,0
83,0	84,0	81,0	80,0

As médias de potência tomadas à rotação de 2300 rpm, Tabela 14, conclui-se que não diferiram estatisticamente entre si para todos os combustíveis, não havendo variação significativa apresentando menor variação para diesel com 0,36% (83,36 kW) e maior variação para B-100 de 1,47% (78,76 kW) comprovando a confiabilidade das observações tomadas.

Tabela 14 - Média das Potências para Combustíveis (2300 rpm)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Diesel	3	250,10	83,36	0,30
B-20	3	251,00	83,66	0,33
B-50	3	243,40	81,13	0,65
B-100	3	236,30	78,76	1,16

Pela Tabela 15 observou-se que, tanto o *valor-P* = 0,0001 quanto o valor de $F_{\text{calculado}} = 25,38$ ser maior que o valor de $F_{\text{crítico}} = 4,06$, não indica haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para as médias de potências a 2300 rpm.

Tabela 15 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (2300 rpm)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	46,70	3	15,56	25,38	0,00	4,06
Dentro dos grupos	4,90	8	0,61			
Total	51,60	11				

A Tabela 16, representada as medidas de potência média na rotação mínima de 1000 rpm para todos os combustíveis na triplicata de suas amostras, sendo observado que todas as medidas tomadas não apresentaram variações significativas entre si.

Tabela 16 - Potência dos Combustíveis na Triplicata das Amostras

Potência (kW) na Rotação (1000 rpm)			
Diesel	B-20	B-50	B-100
38,3	37	38,1	38,2
38,5	37,6	37,3	37,5
38,4	37	36,9	37,8

A Tabela 17, de maneira análoga para 2300 rpm, verificou-se que a 1000 rpm as médias das potências não apresentaram variações significativas, dentre as quais a menor variação ocorrida para diesel com 0,03% (38,40 kW) e maior variação para B-50 de 0,99% (37,43 kW).

Tabela 17 - Média das Potências para Combustíveis (1000 rpm)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Diesel	3	115,20	38,40	0,01
B-20	3	111,60	37,20	0,12
B-50	3	112,30	37,43	0,37
B-100	3	113,50	37,83	0,12

Pela Tabela 18 observou-se que, tanto o *valor-P* = 0,0266 quanto o valor de $F_{\text{calculado}} = 5,28$, ainda maior que $F_{\text{crítico}} = 4,06$, confirmam não haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para as potências na rotação de 1000 rpm.

Tabela 18 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	2,48	3	0,82	5,28	0,02	4,06
Dentro dos grupos	1,25	8	0,15			
Total	3,73	11				

As Figuras 47, 48, 49 e 50 relativas às potências médias dos referidos combustíveis, apresentam características semelhantes entre si, observadas pelas curvas de tendência e apresentaram valores de $R^2 > 0,96$, o que indica que existe uma correlação entre potência e rotação não havendo, portanto, interferência de nenhuma outra variável.

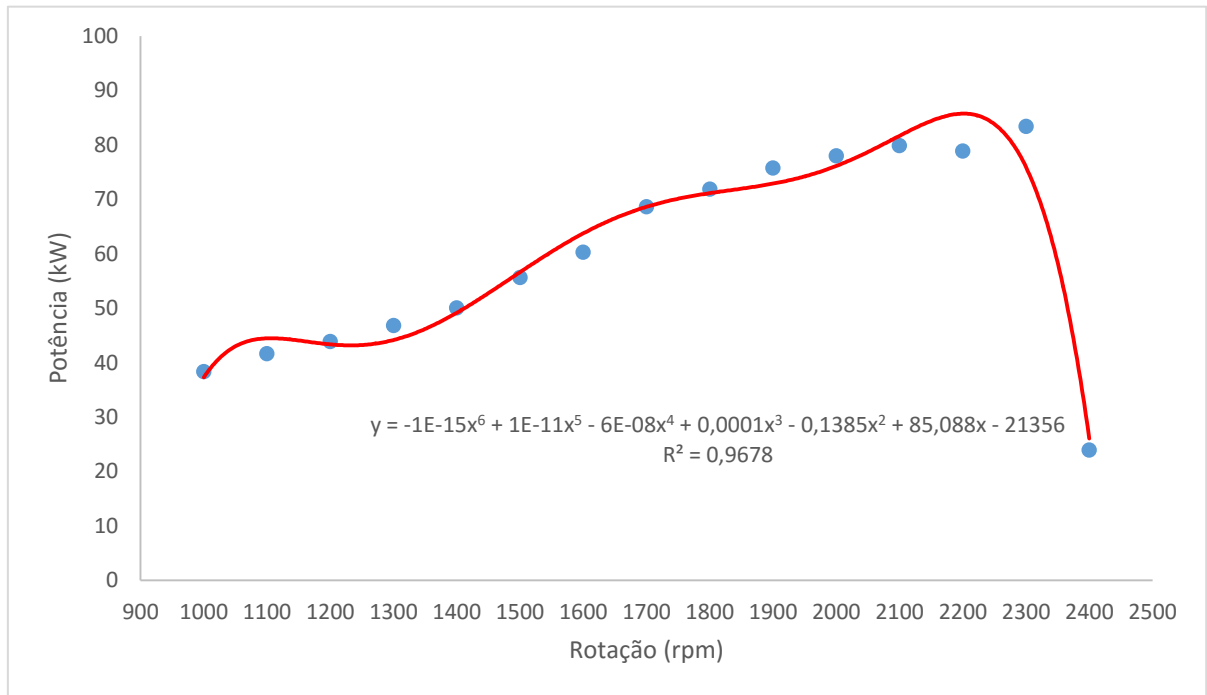
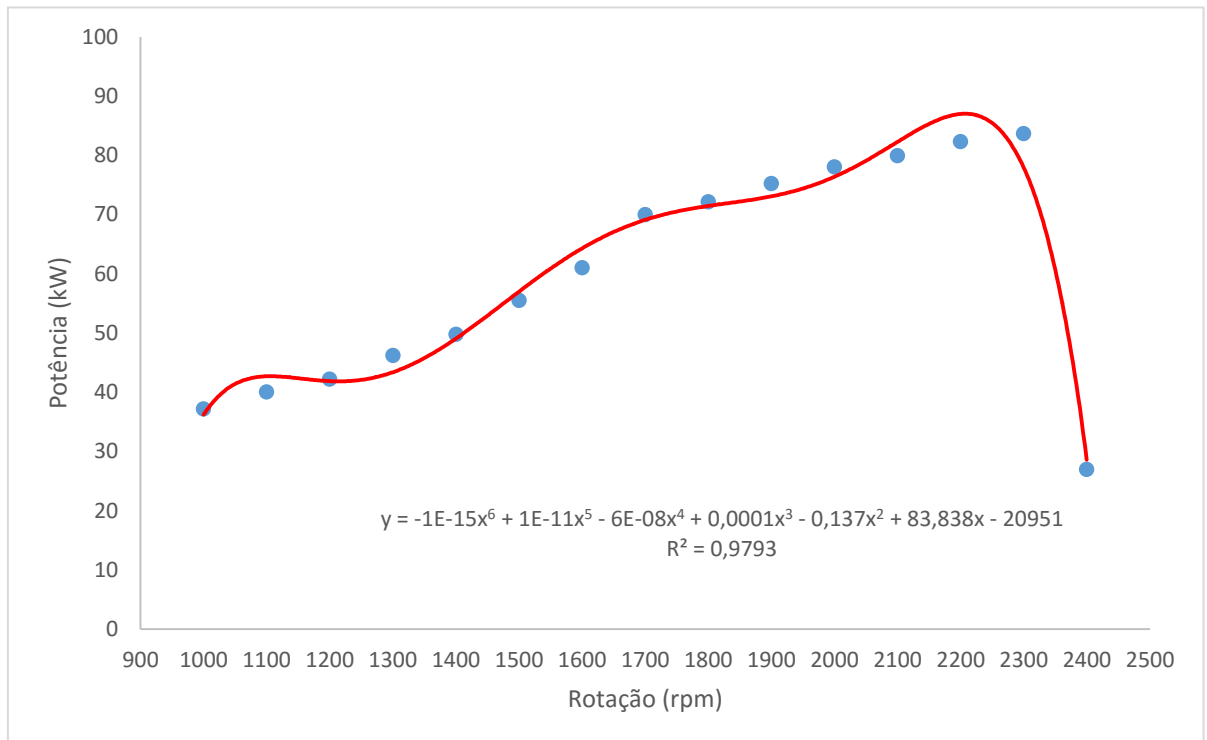
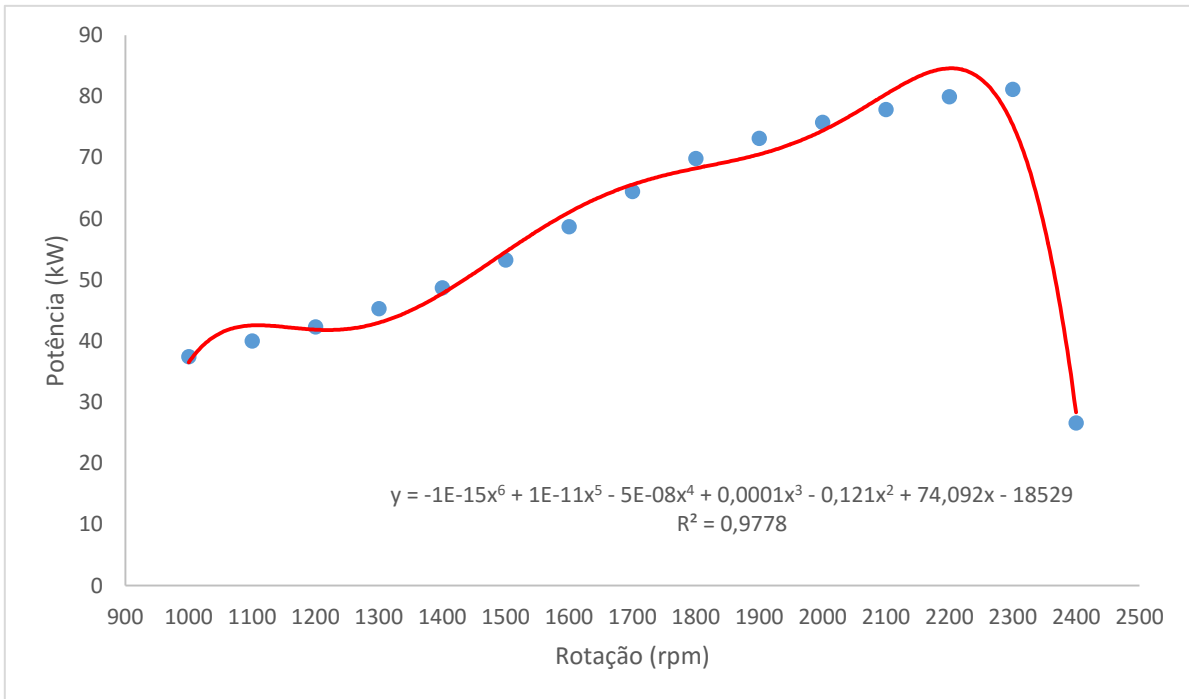
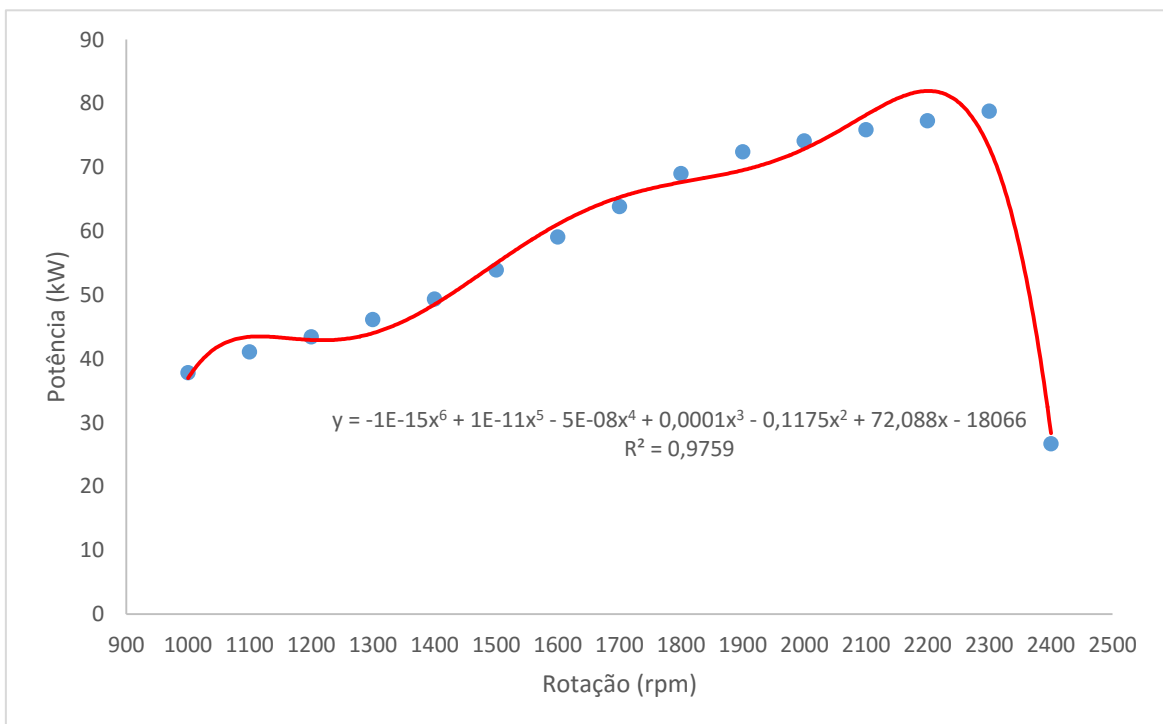
Figura 47 - Curva de Tendência para Potência Média (Diesel)**Figura 48 - Curva de Tendência para Potência Média (B-20)**

Figura 49 - Curva de Tendência para Potência Média (B-50)**Figura 50** - Curva de Tendência para Potência Média (B-100)

Ao analisar os gráficos, observou-se que as curvas de tendência para as potências médias dos combustíveis diesel, B-20, B-50 e B-100 apresentaram semelhança entre si, com oscilações não significativas das curvas ocorrendo elevação gradativa dos valores de suas potências médias, à medida em que se eleva a rotação do motor de 1000 rpm a 2300 rpm, com maior valor verificado

para o B-20 (83,67 kW) seguido pelo diesel 83,37 kW) e o menor valor atribuído ao B-100 (78,77 kW). No entanto, ao se elevar para a rotação máxima de 2400 rpm, percebeu-se um decaimento de todas as potências médias tomadas com maior valor para o B-20 (26,97 kW) e menor valor para o diesel (23,97 kW).

Em geral, as potências médias obtiveram valores muito próximos, contudo o B-20 e o diesel apresentaram valores muito semelhantes, ainda que o diesel possuir maior poder calorífico ainda apresentou media um pouco menor que o B-20, embora este tenha apresentado maior consumo de combustível.

5.6.2 Torque nas Rotações 1800 rpm e 1000 rpm

Na rotação de 1800 rpm, todos os combustíveis apresentaram o melhor desempenho em torque com amostras percebidas na Tabela 19, com destaques para o combustível diesel seguido pelo B-20 com valores bem próximos entre si e o B-100 com o menor desempenho.

Tabela 19 - Torque dos Combustíveis na Triplicata das Amostras

Torque (N.m) na Rotação 1800 rpm			
Diesel	B-20	B-50	B-100
385	381	375	364
380	381	368	364
386	383	370	368

Os torques médios gerados para os quatro combustíveis, como vistos na tabela 20, o diesel novamente se apresentando como melhor desempenho seguido pelo B-20, B-50 e B-100.

Tabela 20 - Média dos Torques para Combustíveis (1800 rpm)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Diesel	3	1151	383,66	10,33
B-20	3	1145	381,66	01,33
B-50	3	1113	371,00	13,00
B-100	3	1096	365,33	05,33

O menor desempenho em torque médio foi verificado para B-100, demonstrando que combustível 100 % concentrado derivado de óleo vegetal desenvolve menor força motora.

Segundo Augusto (2011), os melhores resultados de torque máximo para todos os combustíveis utilizados, verifica-se que o aumento da proporção de biodiesel de óleo de frango é prejudicial para o desenvolvimento de torque no motor. O maior decréscimo se dá principalmente a partir da mistura proporcional a 60% de biodiesel.

Ainda o autor, o torque máximo é desenvolvido em rotações onde há uma melhor combinação entre o escoamento de ar (comburente), injeção de combustível, e tempo de combustão, favorecendo a liberação de energia e conseqüentemente, desenvolvendo maior força sobre o pistão e maior torque. As medidas tomadas na rotação de 1800 rpm, não apresentaram variação significativa entre as observações, visto que a menor variação de 0,003% (381,66 N.m) para o B-20 e maior variação para B-100 de 0,151% (365,33 N.m), conforme tabela 19.

Os resultados da queda de torque em função do aumento da concentração de biodiesel também verificados com o uso de biocombustível provenientes de éster de sebo bovino, bem como de éster etílico de girassol em rotações superiores a 2600 rpm. (MACHADO, 2008, p. 96).

Machado *et al* (2008), afirmaram a redução de torque apresentado pelo éster foi atribuída ao menor conteúdo energético do mesmo em relação ao B-02 e da má forma da mistura, em consequência das maiores viscosidade e tensão superficial do combustível.

Observou-se que na rotação 1800 rpm as medidas de torque tomadas, apresentaram torque máximo para diesel (386 N.m) e torque mínimo para o B-100 (364 N.m); todavia diesel e B-20 obtiveram valores semelhantes entre si.

Pela Tabela 21 observou-se que, tanto o *valor-P* = 0,0001 quanto o valor de $F_{\text{calculado}} = 30,44$, ainda maior que o valor de $F_{\text{crítico}} = 4,06$, confirmaram não haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para os torques na rotação de 1800 rpm.

Tabela 21 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1800 rpm)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	684,91	3	228,30	30,44	0,0001	4,06
Dentro dos grupos	60,00	8	7,50			
Total	744,91	11				

Analisando a Tabela 22, observou-se que na rotação 1000 rpm ocorreu que em cada medida de torque tomada, para cada tipo de combustível e para cada amostra, apresentaram oscilações não

significativas, sendo os torques máximo 370 N.m para o diesel e mínimo 353 N.m para o B-20.

Tabela 22 - Torque dos Combustíveis na Triplicata das Amostras

Torque (N.m) na Rotação 1000 rpm			
Diesel	B-20	B-50	B-100
370	353	374	365
360	360	355	357
370	356	357	361

A Tabela 23, com as médias de torques na rotação de 1000 rpm, não houve variação significativa entre as medidas, sendo a menor variação 3,46% (356,33 N.m) para o B-20 e maior variação de 30,11% (362 N.m) para o B-50.

Tabela 23 Média dos Torques para Combustíveis (1000 rpm)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Diesel	3	1100	366,66	33,33
B-20	3	1069	356,33	12,33
B-50	3	1086	362,00	109,00
B-100	3	1083	361,00	16,00

Pela Tabela 24 observou-se que, tanto o $valor-P = 0,35$ quanto o valor de $F_{calculado} = 1,26$ menor que $F_{crítico} = 4,06$, confirmam não haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para o torque médio.

Tabela 24 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	161,66	3	53,88	1,26	0,35	4,06
Dentro dos grupos	341,33	8	42,66			
Total	503,00	11				

As Figuras 51, 52, 53 e 54 os torques médios para todos os combustíveis observados apresentam características semelhantes entre si observadas pelas curvas de tendência nos ensaios

de motor e apresentaram valores de $R^2 > 0,97$, o que indica que existe uma correlação entre torque e rotação não havendo, portanto, interferência de nenhuma outra variável.

Figura 51 - Curva de Tendência para Torque Médio (Diesel)

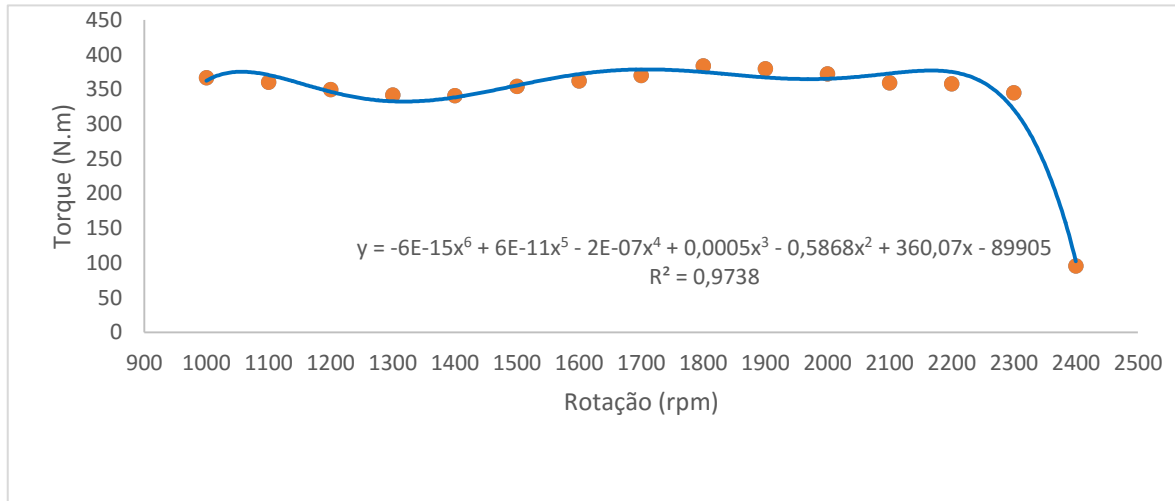


Figura 52 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-20)

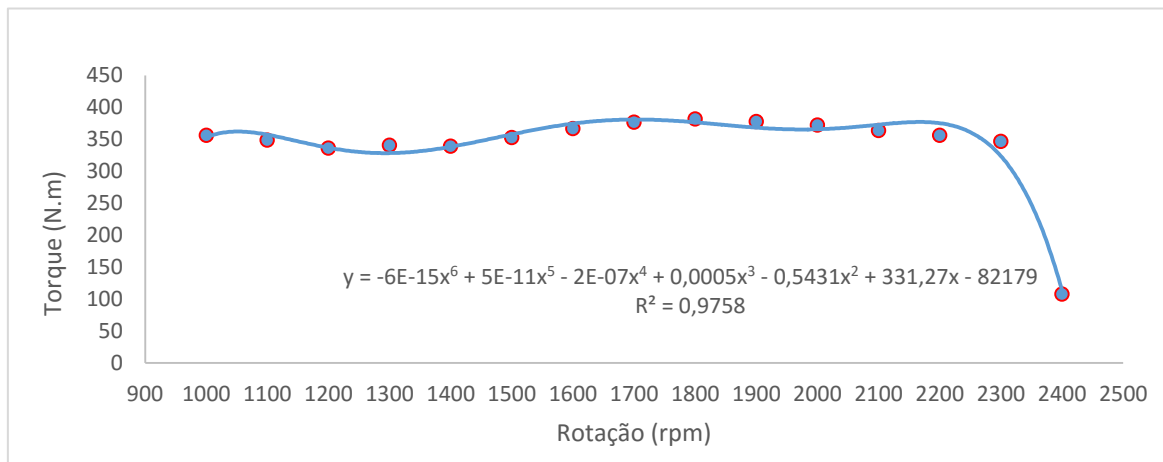
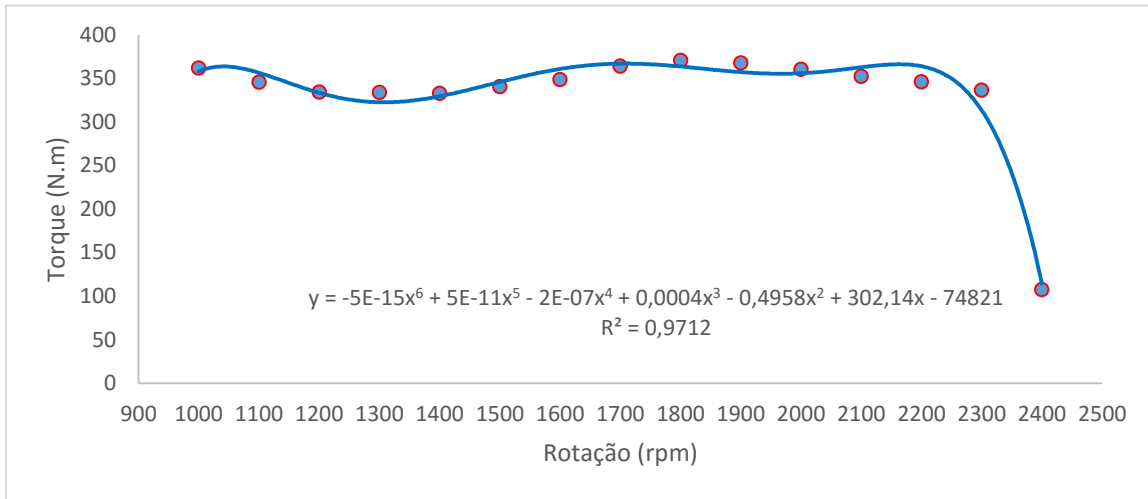
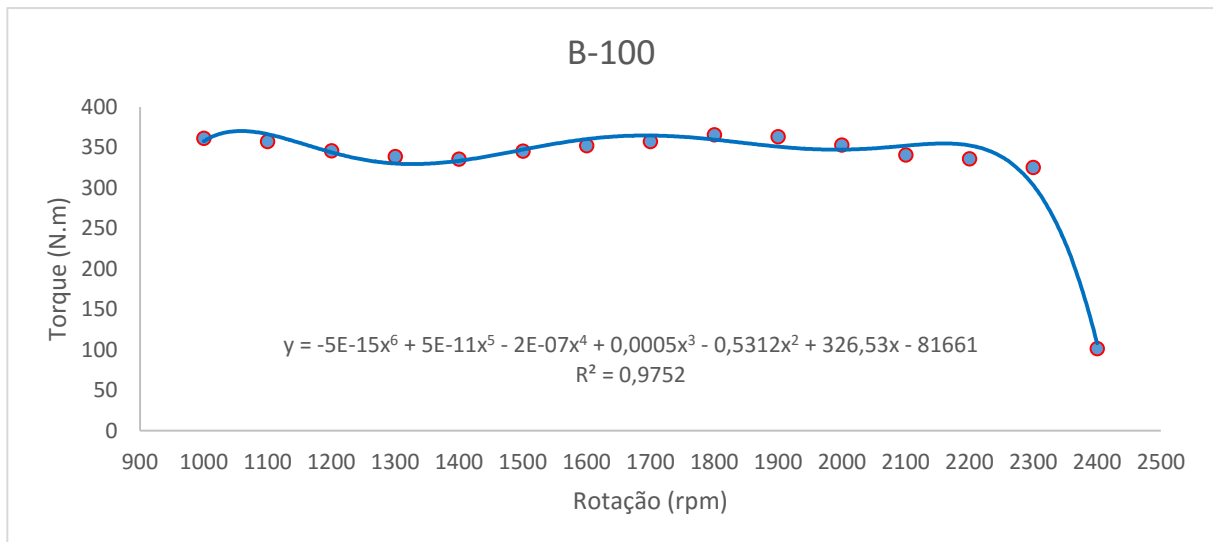


Figura 53 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-50)**Figura 54 - Curva de Tendência para Torque Médio (B-100)**

Observou-se que as curvas de tendência para torques médios, em geral, para todos os combustíveis ensaiados apresentaram semelhanças entre si, principalmente as curvas de diesel com B-20 e B-50 com B-100.

Porém, não apresentaram suavidade nas linhas das curvas, mesmo com o aumento considerável de 50% para 100% de uso de biodiesel, o que pode ser interpretado pelo bom funcionamento do motor, sem alterações do seu comportamento durante as amostras.

No entanto, não ocorreram oscilações significativas da rotação mínima de 1000 rpm a 2300 rpm mantendo um torque médio próximos entre os combustíveis com maior torque médio para o diesel (383,66 Nm), seguido do B-20 (381,66 Nm) e menor o B-100 (365,33 Nm).

Pode-se explicar a queda do torque médio à medida em que se acrescenta biodiesel na mistura e, inclusive, quando se usa 100 % biodiesel pelo fato do B-100 possuir maior índice de cetano, o que provoca a atomização antecipada durante a explosão diminuindo a força sobre os pistões. Igualmente ocorrido com a potência média, durante a elevação para a rotação máxima de 2400 rpm, ocorreu decréscimo da linha das curvas de tendência dos torques médios para todos os combustíveis analisados nas amostras para valores próximos entre si.

Representando o maior torque médio na rotação máxima o B-20 igualado pelo B-50 (107,67 Nm), surpreendentemente, pois este deveria apresentar menor valor entre os dois analisados pelo mesmo motivo acima citado. O menor torque médio ficou representado pelo diesel (23,96 Nm) na rotação máxima de 2400 rpm.

5.6.3 Consumo nas Rotações 1000 rpm e 2300 rpm

Nos ensaios de motor a diesel, na rotação de 1000 rpm, Tabela 25, foi verificado menor consumo para B-20 e maior consumo para B-100 na primeira amostra de ensaio.

Entre as medidas observadas para determinado tipo de combustível, o diesel apresentou valores bem próximos na tomada de medida, enquanto que os demais combustíveis apresentaram diferenças consideráveis entre si.

Tabela 25 - Consumo de Combustíveis na Triplicata das Amostras

Consumo de Combustível (kg/h) na Rotação 1000 rpm			
Diesel	B-20	B-50	B-100
8,4	6,10	29,50	37,80
8,5	23,20	21,00	28,20
8,4	8,60	07,00	13,40

A Tabela 26, com as medidas tomadas na rotação de 1000 rpm, não houve variação significativa entre as observações, visto que a menor variação para diesel e as maiores variações apresentadas para os biocombustíveis.

Tabela 26 - Média dos Consumos de Combustíveis (1000 rpm)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Diesel	3	25,30	8,43	0,003
B-20	3	37,90	12,63	85,30
B-50	3	57,50	19,16	129,08
B-100	3	79,40	26,46	151,09

Observou-se que, através da Tabela 27, não haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para o consumo de combustível, na rotação de 1000 rpm avaliando o valor-P = 0,18 quanto o valor de $F_{\text{calculado}} = 2,03$, menor que $F_{\text{crítico}} = 4,06$.

Tabela 27 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (1000 rpm)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	559,03	3	186,34	2,03	0,18	4,06
Dentro dos grupos	730,96	8	91,37			
Total	1290,00	11				

Na rotação de 2300 rpm, Tabela 28, foi observado que o consumo de combustível nas medidas tomadas, apresentou menor consumo para B-20 e maior consumo para o B-100, seguido pelo B-50. Já o diesel verificou um consumo mais estável entre as amostras.

Tabela 28 - Consumo de Combustíveis na Triplicata das Amostras

Consumo (kg/h)			
Rotação 2300 rpm			
Diesel	B-20	B-50	B-100
18,6	13,50	37,70	45,40
18,3	30,40	27,90	35,80
18,2	16,20	14,10	22,00

A Tabela 29, com as medidas tomadas na rotação de 2300 rpm, não houve variação significativa entre as observações, visto que a menor variação, 0,23% (diesel) e as maiores variações apresentadas para os biocombustíveis B-20, B-50 e B-100.

Tabela 29 - Média dos Consumos de Combustíveis (2300 rpm)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Diesel	3	55,10	18,36	0,04
B-20	3	60,10	20,03	82,42
B-50	3	79,70	26,56	140,57
B-100	3	103,20	34,4	138,36

Observou-se que, através da Tabela 30, não haver estatisticamente diferença significativa entre as medidas tomadas para o consumo de combustível, na rotação de 2300 rpm avaliando o valor-P = 0,23 quanto o valor de $F_{\text{calculado}} = 1,76$, menor que $F_{\text{crítico}} = 4,06$.

Tabela 30 - Variação entre Grupos para “F” e “P” (2300 rpm)

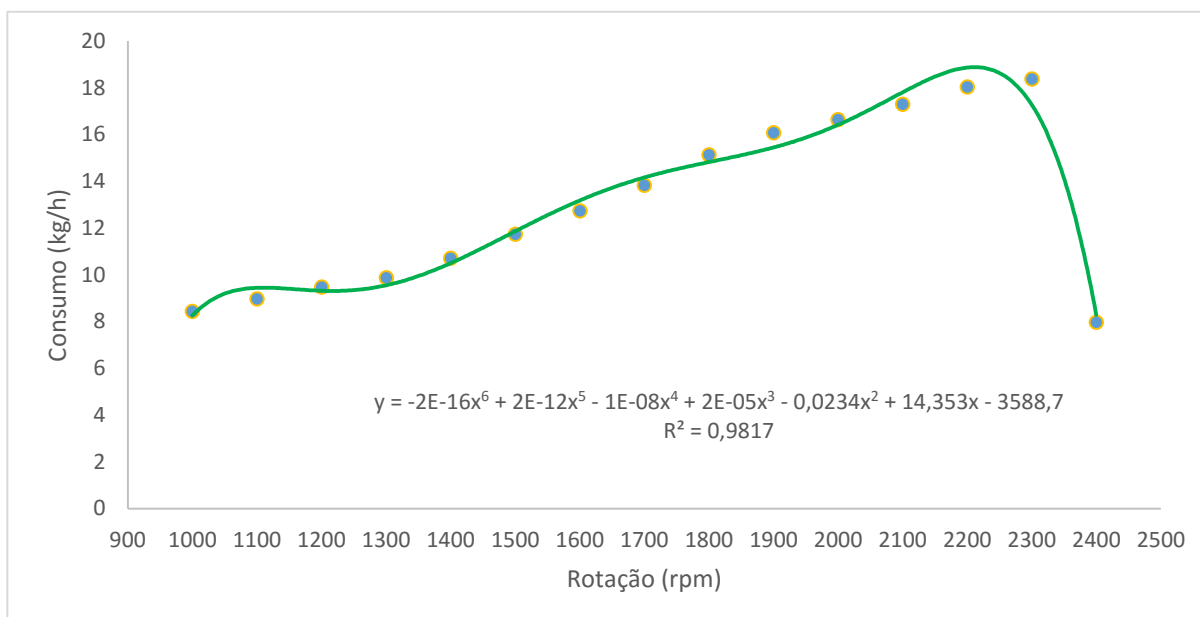
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	478,14	3	159,38	1,76	0,23	4,06
Dentro dos grupos	722,80	8	90,35			
Total	1200,94	11				

As Figuras 55, 56, 57 e 58 para a consumo médio em função da rotação para os combustíveis diesel, B-20, B-50 e B-100, apresentam características semelhantes entre si observadas pelas curvas de tendência nos ensaios de motor e apresentaram valores em torno de $R^2 > 0,99$, o que indica que existe uma correlação entre consumo e rotação não havendo, portanto, interferência de nenhuma outra variável.

Observados os gráficos das referidas figuras, a curva de tendência para o diesel indica que há um aumento do consumo médio de combustível, à medida em que há o aumento do giro do motor até a rotação de 2300 rpm, sendo que neste ponto o consumo médio é máximo, 18,37 kg/h, momento em que o motor atinge sua potência máxima de 83,37 kW.

Ao exceder esta rotação, o motor diminui consideravelmente o seu consumo médio atingindo o valor mínimo de 7,97 kg/h, no entanto, apresentou consumo médio próximo na baixa rotação de 1000 rpm, com medida tomada de 8,43 kg/h.

Observada a curva de tendência para o consumo médio de combustível B-20, este apresentou crescimento com o aumento da rotação mínima de 1000 rpm à rotação máxima de 2400 rpm, porém marcando menor consumo médio, 12,63 kg/h, no giro mínimo e consumo médio máximo de 20,80 kg/h na rotação máxima e potência mínima de 26,97 kW.

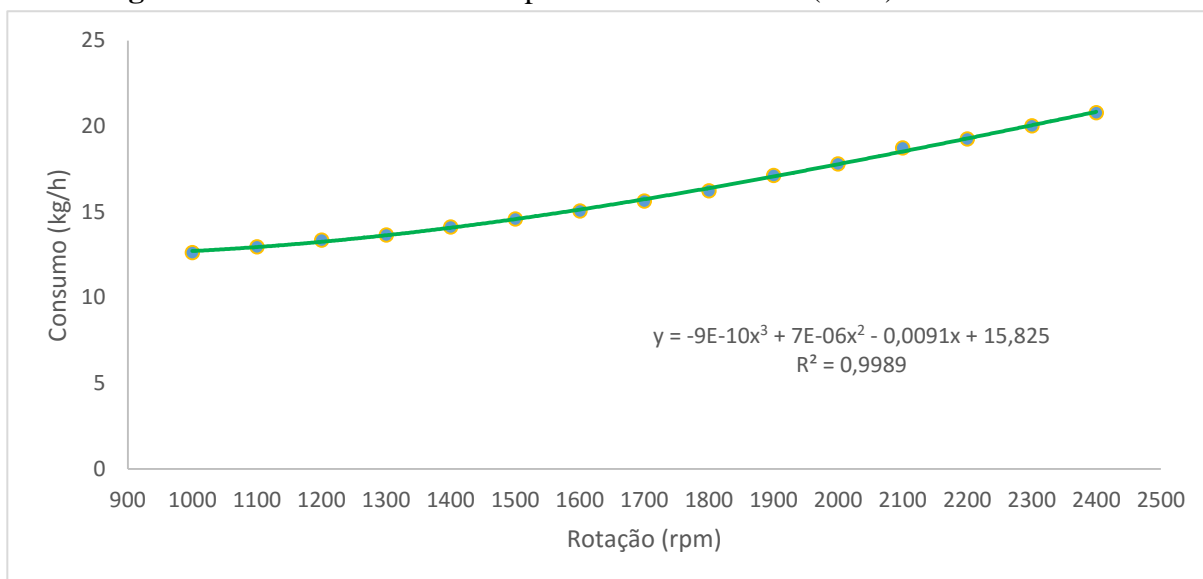
Figura 55 - Curva de Tendência para Consumo Médio (Diesel)

No entanto pode-se observar ainda que o motor obteve consumo semelhante de 20,03 kg/h na rotação de 2300 rpm, porém produzindo potência máxima de 83,67 kW e num consumo médio de combustível de 16,23 kg/h, valor este calculado pela média entre 12,63 kg/h a 20,80 kg/h, na rotação intermediária de 1800 rpm gerando um torque máximo de 381,67 Nm.

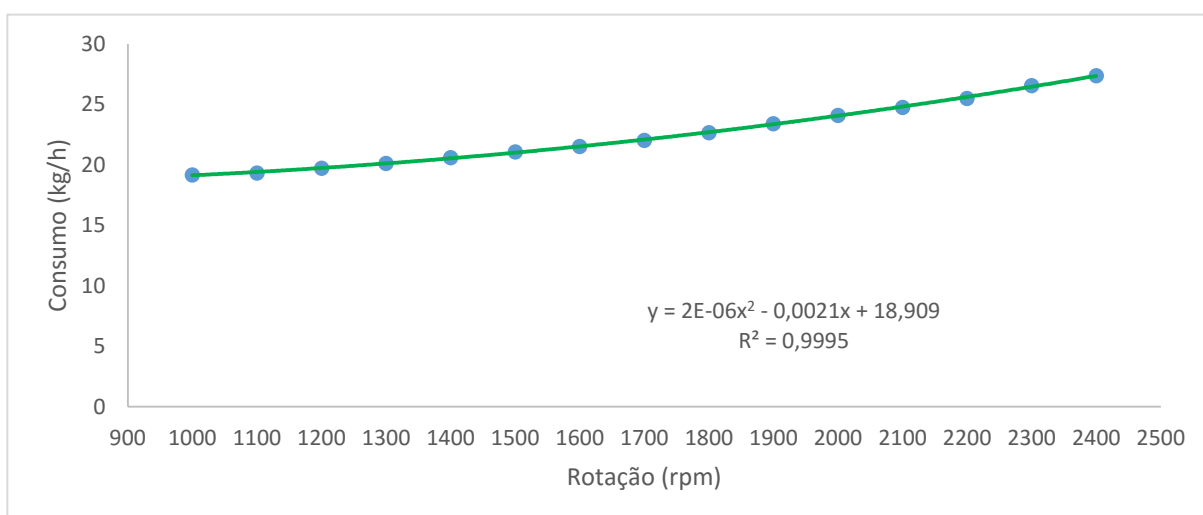
Portanto, o motor apresentou melhor desempenho de potência a 2300 rpm e de torque a 1800 rpm, mas neste giro o consumo médio de combustível foi menor se comparado com a potência máxima. Em outras palavras, o melhor desempenho para com o uso de B-20 foi identificado onde o torque foi máximo, 381,67 Nm, na rotação de 1800 rpm e consumo médio de combustível 16,23 kg/h.

Comparativamente com o diesel, o B-20 apresentou maior consumo médio em todas as rotações medidas, contudo os dois combustíveis demonstraram desempenhar de forma semelhante em termos de potência máxima e torque máximo.

Com relação aos outros combustíveis, o B-20 apresentou curva de tendência de consumo médio de combustível semelhante aos B-50 e B-100, embora tenha percebido a elevação do consumo à medida em que se aumenta a mistura de biocombustível ao diesel.

Figura 56 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-20)

Quanto ao combustível B-50, em geral, apresentou elevação do consumo médio dentre as faixas de rotação de 1000 rpm a 2400 rpm quando comparado com os combustíveis diesel e B-20. A medida de consumo máximo foi de 27,37 kg/h no giro máximo, gerou uma potência mínima de 26,63 kW e consumo semelhante de 26,57 kg/h na rotação 2300 rpm produzindo potência máxima de 81,13 kW.

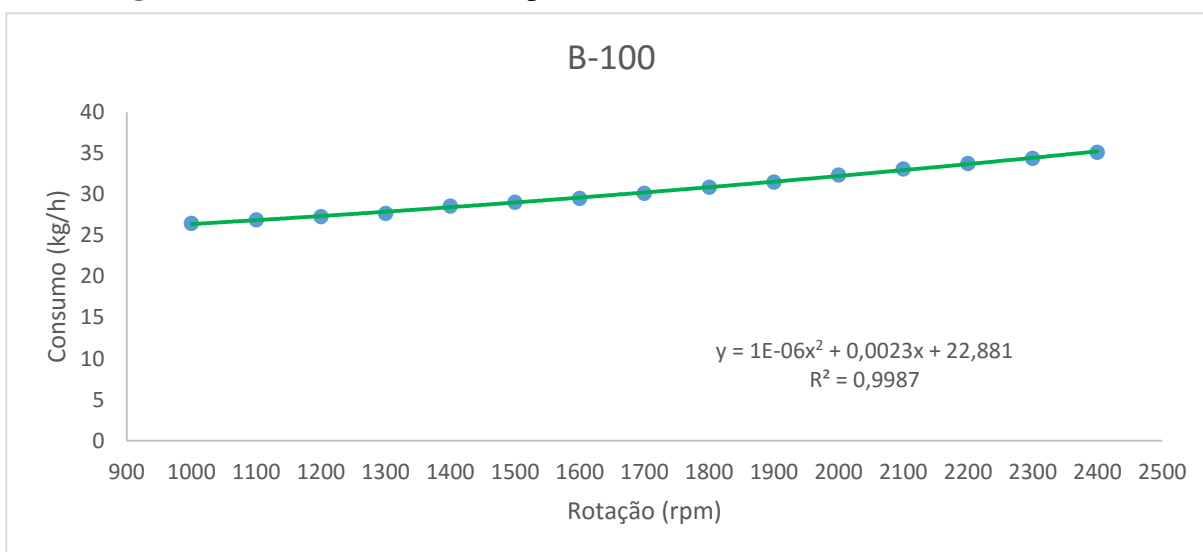
Figura 57 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-50)

Já o torque máximo de 371 Nm foi medido na rotação intermediária de 1800 rpm com consumo médio de 22,67 kg/h, valor este entre os consumos máximo e mínimo, apresentando melhor desempenho na rotação mínima, cujo consumo médio foi de 19,17 kg/h.

Deste modo, o B-50 apresentou queda de desempenho em relação aos combustíveis anteriores, no que se refere à potência e torque com aumento do consumo de médio de combustível.

Pela Figura 58, observou-se que o B-100, como era de se esperar, apresentou maior consumo médio de combustível em relação aos demais diesel, B-20 e B-50, sendo que o seu menor consumo foi de 26,47 kg/h (1000 rpm), superior ao consumo máximo do diesel e do B-20 e próximo ao consumo máximo do B-50.

Figura 58 - Curva de Tendência para Consumo Médio (B-100)



Quanto ao consumo máximo do B-100, este foi medido a 35,14 kg/h (2400 rpm), com potência mínima gerada de 26,67 kW, mas apresentando um consumo médio semelhante de 34,40 kg/h, na rotação 2300 rpm, contudo produzindo uma potência máxima de 78,77 kW, no entanto com queda de potência mais representativa em relação aos demais combustíveis.

Observou-se, ainda, que seu torque máximo medido de 365,33 Nm foi verificado na rotação intermediária de 1800 rpm, num consumo intermediário dentre as rotações máxima e mínima. Logo, percebeu-se que o B-100 obteve o menor desempenho de motor em relação aos demais combustíveis, com queda de potência e torque e aumento considerável de consumo de combustível, visto que este combustível possui menor poder calorífico.

Apesar que este combustível apresente menor desempenho, apresenta vantagens superiores, pois possui maior índice de cetano, cuja propriedade lubrificante torna-se benéfica às partes móveis do motor, bem como o adicional de oxigênio presente torna a combustão mais completa e quanto maior a cetanagem menor o nível de poluição.

Outra, não possuindo enxofre em sua composição, pois este encontra-se diretamente relacionado com o efeito estufa, o diesel por questões ambientais tem sua quantidade de enxofre reduzida, porém devendo-se acrescentar aditivos, que normalmente são pequenas quantidades de biodiesel para melhorar a sua lubricidade.

Contudo, combustíveis com maiores concentrações de biodiesel possuem características de apresentar menor desempenho mecânico, mas são altamente benéficos em termos ambientais pois emitem menores quantidades de CO₂ em relação ao diesel e ainda promovem o fechamento do ciclo de carbono, uma vez que o cultivo de matérias-primas destinadas à produção de biodiesel proporcionam uma ótima absorção deste gás gerado durante a queima do combustível destinado à realização da fotossíntese.

Em geral, observou-se que numa mistura de 20% de biodiesel ao diesel promoveu um desempenho semelhante ao diesel, em termos de potência, torque e consumo médios de combustíveis, ao mesmo tempo proporcionando uma redução de enxofre com uma melhor lubrificação do motor, já que o biodiesel é um bom aditivo e, ainda, diminuindo os efeitos prejudiciais ao meio ambiente e aos seres vivos.

6 CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho de dissertação, o estado da arte proporcionou uma melhor compreensão do uso de biocombustíveis em motores a diesel, no que se refere ao desempenho mecânico em termos de potência, torque, consumo de combustível e as medidas, bem como as propriedades tais como viscosidade, densidade, teor de enxofre, poder calorífico e número de cetano que podem influenciar no desempenho do motor a diesel, sendo que foram observados, ainda, as emissões dos gases da queima dos combustíveis medidas quanto ao número de fumaça, materiais particulados e de fuligem.

Com a execução da parte prática, com os ensaios de motor e dinamômetro, pode-se tomar as medidas de potência, torque e consumo de combustível em função da rotação do motor, sendo geradas curvas de desempenho do motor onde foram analisadas e determinar qual o melhor desempenho apresentado entre os combustíveis estudados diesel, B-20, B-50 e B-100.

Quanto ao desempenho, portanto, ficou claro nitidamente que o diesel e o B-20 apresentaram respostas muito semelhantes referentes à potência, torque e consumo de combustível, com potência máximas idênticas e torque do diesel com diferença mínima em relação ao B-20 com consumo médio de combustível também muito semelhantes.

Logo, conclui-se que o uso deste biodiesel pode desempenhar um trabalho característico do apresentado pelo diesel, porém com vantagens ambientais com a diminuição de emissões dos gases gerados pela queima, principalmente de enxofre causador de efeito estufa e do dióxido de carbono.

Acrescenta-se como outra vantagem, a amenização dos desgastes internos do motor a diesel, já que com a redução de enxofre nos combustíveis a diesel, um aditivo lubrificante a substituí-lo a cargo do biocombustível e também aumentando o número de cetano à mistura de combustíveis o que eleva a adição de oxigênio com melhor resposta na queima do biodiesel.

O efeito de maior consumo de combustível por parte do biodiesel, sendo mais representativo o B-100, o que deriva do fato de menor poder calorífico dos biocombustíveis em relação ao diesel, ainda por possuírem maior viscosidade o que eleva o consumo de combustível, mas o ganho com a diminuição dos impactos ambientais e de saúde pública, favorecem o emprego de biodiesel em motores a diesel.

Percentualmente, o desempenho médio de potência demonstrado pelo B-20 em relação ao diesel (S-10) apresentou um acréscimo de 0,35%, enquanto que o B-50 representando 97,31% de desempenho em relação ao diesel e o B-100, com 94,14% de desempenho todos medidos na rotação de 2300 rpm.

Para o desempenho relativo ao torque médio, na rotação de 1800 rpm para todos os combustíveis, o B-20 apresentou 99,47 % de desempenho em relação ao combustível-testemunha (diesel), enquanto que o B-50 com desempenho de 96,69 % e o B-100 a 95,21 %.

Na avaliação de desempenho quanto ao menor consumo médio de combustível, os combustíveis B-20, B0-50 e B-100 apresentaram menor consumo na rotação mínima, com exceção o diesel apresentando na rotação máxima. Contudo, o seu consumo a 1000 rpm foi muito próximo à rotação de 2400 rpm. Dessa forma, podemos considerar para efeito de desempenho, todos sendo avaliados na rotação mínima, ou seja, de 1000 rpm.

Neste sentido, o desempenho do motor quanto ao consumo médio e mínimo de combustível o B-20 apresentou 49,82 % de aumento, o B-50 com aumento de 127 % e o B-100 um acréscimo de 213,99 %. Portanto, o diesel demonstrou ser o combustível mais econômico, ou seja, apresentou melhor desempenho em relação aos demais biocombustíveis, sendo o B-20 com a menor perda de desempenho em termos de consumo médio de combustível em relação a B-50 e B1-100 quando comparados com o diesel.

Observadas emissões tendo como parâmetros o FSN (número de fumaça do filtro), dos valores medidos para todos os combustíveis ensaiados, o B-100 apresentou 6,1 mg/m³ de fumaça, apresentando 44,54 % de diminuição de fumaça, em comparação com o diesel medido a 11 mg/m³, seguido do B-50 com 8,3 mg/m³ e redução de 24,54 %, enquanto que o B-20 apresentou acréscimo de 6,36 % de fumaça presente no filtro do medidor de fumaça.

Para a medição de fuligem ou material particulado presente no filtro do medidor de fumaça, foi observado o B-100 apresentou a menor concentração, 12,71 mg/m³, com 52,82 % de redução de particulado, seguido do B-50 com 18,97 mg/m³, numa diminuição de 29,58 % de material particulado e o B-20, na concentração de 30,15 mg/m³, superior ao diesel com 26,94 mg/m³, apresentando, portanto, a mistura de 20 % de biodiesel com um acréscimo de 11,91 %.

A terceira análise dos gases de exaustão, relaciona-se com o nível de poluição médio gerado, apresentando o menor valor o B-100 com 2,52%, seguido do B-50 marcando 4,80 %, do diesel, 7,49 % e por último com maior nível de poluição o B-20 8,17 %. A diminuição das emissões representa uma expressiva justificativa do uso de biodiesel, destacando-se o B-20 que além de reduzir a quantidade de material particulado, manteve o desempenho semelhante ao diesel e o uso de 100 % biodiesel, ainda que haja o aumento de consumo pode representar um combustível mais “limpo”, com seu uso de forma sustentável à vida e ao meio ambiente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se a realização de ensaios de desempenho em motor a diesel utilizando misturas ternárias biodiesel-etanol anidrido-óleo vegetal e a análise das emissões de materiais particulados. Propõe-se, portanto, a miscibilidade ternária:

- 20 % biodiesel + 30 % etanol anidrido + 50 % óleo vegetal
- 20 % biodiesel + 30 % etanol anidrido + 50 % óleo vegetal
- 50 % biodiesel + 30 % etanol anidrido + 50 % óleo vegetal
- 50 % biodiesel + 20 % etanol anidrido + 50 % óleo vegetal

Os resultados desta proposta de pesquisa, poderão ser confrontados com os resultados de desempenho e emissões de particulados deste trabalho atual, em que foram utilizadas as seguintes miscibilidade binária:

- Diesel comercial (7 % de biodiesel)
- 20 % biodiesel + 80 % diesel
- 50 % biodiesel + 50 % diesel
- 100 % biodiesel

Dessa forma, o proposto trabalho tem por objetivo realizar um estudo comparativo de desempenho e das análises dos materiais particulados emitidos pelos combustíveis binários e ternários, sendo que os ensaios deverão ser realizados em motor a diesel de modelo idêntico aos praticados nos laboratórios de máquinas e motores do INMETRO-RJ.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALI, O. M.; MAMAT, R.; ABDULLAH, N. R.; ABDULLAH, A. A. **Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel–diesel blended fuel.** Renewable Energy. v. 86, fev. 2016, p. 59–67. Elsevier.

ALPTEKIN, E.; CANAKCI, M. **Determination of the density and the viscosities of biodiesel–diesel fuel blends.** Renewable Energy. v. 33, Issue 12, dez. 2008, Pages 2623–2630. Elsevier.

ASHRAFUL, A. M.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; FATTAH, I. M. R.; IMTENAN, S.; SHAHIR, S. A.; MOBARAK, H. M. **Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review.** Energy Conversion and Management. v. 80, abr 2014, p. 2623–2630. Elsevier.

ATARES, P. V A.; BLANCA, A. L. **Tractores y motores agrícolas.** 3. ed. Madrid: Mundi-prensa Libros, 2005. 543 p.

BARBOSA, R. L. *et al.* **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel.** Ciência e Agrotecnologia, UFLA, v. 32, n. 5, p.1588-1593, set. 2008.

BARGER, E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores.** Tradução de V. L. Schilling. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. Título original: Tractors and Their Power Units.

BHUIYA, M. M. K.; RASUL, M. G.; KHAN, M. M. K.; ASHWATH, N.; AZAD, A. K.; HAZRAT, M. A. **Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel – Part 2: Properties, performance and emission characteristics.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 55, mar. 2016, p. 1129–1146. Elsevier.

BIODIESEL, Rede Brasileira de Tecnologia de. [2004]. **Testes e Ensaios com Motores e Veículos..** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/rede_brasileira_tecnologia/testes_ensaios_com_motores_e_veiculos.html>. Acesso em: 21 abr. 2016.

BIODIESELBR. **Motor Diesel.** Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/motor-diesel/motor-diesel.htm>>. Acesso em: 11 julho. 2016.

BORESI, A. P.; SCHMIDT, R. J. **Estática**. Ed. Pioneira Thomson Learning. Ltda, 2003. S.P. 2003. p. 674.

BRASIL, Biodiesel. **Programas de Testes**. [2005]. Disponível em: <http://www.biodieselbrasil.com.br/programa_teste.asp>. Acesso em: 21 abr. 2016.

CASTELLANELLI, Marcio *et al.* **Performance of cycle Diesel engine in dynamometer using diesel/biodiesel mixtures**. Engenharia Agrícola, v. 28, n. 1, p. 145-153, 2008. Scielo.

CHEIKH, K.; SARY, A.; KHALED, L.; ABDELKRIM, L.; MOHAND, T. **Experimental assessment of performance and emissions maps for biodiesel fueled compression ignition engine**. Applied Energy. V. 161, 1 jan. 2016, p. 320–329. Elsevier.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo levantamento**. Conab, Brasília; 2011.

CONDE, Alexon do Prado. **Desempenho de motor ciclo diesel alimentado com biodiesel de óleo de soja e olivia**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Ufla, Lavras, Minas Gerais, 2007.

FREEDMAN, B.; PRYDE, E. H.; MOUNTS, T. L.. **Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils**. J Am Oil Chem Soc, [s.l.], v. 61, n. 10, p.1638-1643, out. 1984. Springer Science + Business Media.

GHAZALI, W. N. M. W.; MAMAT, R.; MASJUKI, H. H.; NAJAFI, G. **Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 51, nov. 2015, Pages 585–602. Elsevier.

GONCA, G.; DOBRUCALI, E. **Theoretical and experimental study on the performance of a diesel engine fueled with diesel–biodiesel blends**. Renewable Energy. v. 93, ago 2016, Pages 658–666. Elsevier.

GUARIEIRO, L. et al. **Metodologia Analítica para Quantificar o Teor de Biodiesel na mistura Biodiesel: Diesel utilizando Espectroscopia na região do Infravermelho**. Revista Química Nova, Vol. 3, Nº 21, 421-426, 2008.

HE, B-Q. **Advances in emission characteristics of diesel engines using different biodiesel fuels**. Renewable and Sustainable Energy Review. v. 60, jul. 2016, p. 570–586. Elsevier.

JINMA TRACTOR. **Curvas de desempenho do motor**. Disponível em: <<http://www.best-tractor.com/china/air-cooled-engine-1.html>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

KNOTHE, G.; MATHEAUS, A. C.; RYAN, T. W. **Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester.** *Fuel*. v. 82, Issue 8, abr. 2014, p. 2623–2630. Elsevier.

KUMAR, B. R.; SARAVANAN, S.; RANA, D.; ANISH, V.; NAGENDRAN, A. **Effect of a sustainable biofuel – n-octanol – on the combustion, performance and emissions of a DI diesel engine under naturally aspirated and exhaust gas recirculation (EGR) modes.** *Energy Conversion and Management*. v. 118, 15 jun 2016, p. 275–286. Elsevier.

KUMAR, B. R.; SARAVANAN, S. **Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 60, jul 2016, p. 84–115. Elsevier.

LABECKAS, G.; SLAVINSKAS, S. **The effect rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emissions.** *Energy Conversion and Management*. 47, (2006) p. 1954-1967. Elsevier.

MACHADO, P. R. M. **Ésteres combustíveis em motor do ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço da injeção.** 2008. 163p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria.

PETROBRAS. **Manual Técnico Diesel S-10.** Disponível em: <http://www.ruff.com.br/arquivos/arquivos/diesel-s10-petrobras-manual-tecnico.pdf>>. Acesso em: 11 de julho. 2016.

NEVES, M. C. T *et al.* **Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel: Soja X Murumuru.** *Reveng*, Viçosa, Minas Gerais, v. 21, n. 274, p.351-360, jul. 2013.

PARENTE, Expedito José de Sá. **BIODIESEL: Uma aventura tecnológica num país engraçado.** Fortaleza, Ceará: Tecbio, 2003. 66 p. Disponível em: <<http://www.xitizap.com/Livro-Biodiesel.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., BEZERRA, M. B. D. **Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 11, p.147-157, dez. 2014.

PERIN, Gismael Francisco *et al.* **Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível.** *Pesq. Agropec. Bras.*, [s.l.], v. 50, n. 12, p.1168-1176, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

QUINTELLA, Cristina M. *et al.* **Prospecção Tecnológica como uma Ferramenta Aplicada em Ciência e Tecnologia para se Chegar à Inovação.** *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 3, n. 5, p.406-415, 2011. GN1 Genesis Network.

RIGOTTE, Marcio Roberto. **Desempenho de conjunto moto-gerador utilizando biocombustível sob cargas variadas**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2014.

SHEHATA, M. S.; ATTIA, A. M. A.; RAZEK, S. M. A. **Corn and soybean biodiesel blends as alternative fuels for diesel engine at different injection pressures**. *Fuel* v. 161, 1 dez. 2015, p. 49–58. Elsevier.

SONG, H.; JACOBS, T. J. **The Influence of Soot Radiation on NO Emission in Practical Biodiesel Combustion**. *Fuel*. 2014 128 p. 281-287. Elsevier.

SOUZA, P. G. M; ALVES, M. L. **Comparação da Fuligem Emitida pelo Motor Diesel**. 8º Congresso Brasileiro de Metrologia, Bento Gonçalves/RS, 2015.

SUH, H. K.; LEE, C. S. **A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 58. maio 2016, p. 1601-1620. Elsevier.

TORRES, E. A.; SANTOS, D. C.; SOUZA, D. V. D.; PEIXOTO, L. B.; FRANÇA, T. **Ensaio de motores estacionários do ciclo diesel utilizando óleo diesel e biodiesel (B100)**. [S.l.]: AGRENER, 2006.

TULCAN, O. E. P. **Estudo do desempenho do grupo moto-gerador alimentado com diferentes misturas diesel-biocombustíveis e avaliação de emissões**. 2016. 232 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufl, Niterói, 2009.

VARELLA, C. A. A. **Estimativa da potência dos motores de combustão interna**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia. RJ. p. 1-9. 27 de abr. 2010.

VOLPATO, C. E. S. *et al.* **Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B100)**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1125-1130, ago. 2009.

WYLEN, G. J. V.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. Tradução de Alberto Hernandez Neto *et al.* São Paulo: Edgard Blucher, 1993. 318 p. Título original: *Fundamentals of Classical Thermodynamics*

**APÊNDICE I – ANÁLISE DOS COMBUSTÍVEIS USADOS PARA AS
AMOSTRAS**

Figura 59 - Análise do Número de Cetano para o Diesel (INMETRO, 2016)


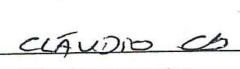
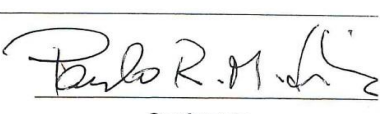

	REGISTRO DOS RESULTADOS DE NÚMERO DE CETANO UTILIZANDO MOTORES CFR	FOR N.º FOR-DIMCI-304	REV. 05				
		APROVAÇÃO JUN/2015	PÁGI 01/0				
Referências: NIT-Lamoc-003		Responsabilidade: DIMCI/DQUIM					
MÉTODO ASTM D 613/14							
Produto: DIESEL B7	Solicitante: MARCIO HE/TO	Identificação: B7					
Identificação interna: LAMOC 009/16	Data: NÃO CONSTA	Processo: NÃO SE APLICA					
INFORMAÇÕES DO MOTOR							
Horímetro: 487,7	Temperatura do óleo (°F): 135°						
Temperatura do ar de admissão (°F): 100°	Pressão do óleo (psi): 29						
Temperatura do refrigerante do injetor (°F): 100°	Nível do óleo do cárter: OK						
Temperatura do líq. arrefecimento (°F): 212°	Nível do óleo da bomba de combustível: OK						
Nível do líq. arrefecimento: OK	Folga válvula de admissão: OK						
Fenda 0° PMS: OK	Folga válvula de exaustão: OK						
IDENTIFICAÇÃO PADRÕES							
Diesel Check (LOW): LOT ODPEFLO1 T(2): LOT T-22		U(10): LOT V-15					
ESTIMATIVA PRELIMINAR							
Taxa de compressão (pol)		Número de Cetano					
/		/					
ENQUADRAMENTO							
Padrões	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)				Número Ceta
			1	2	3	Média	
Menor: 37,3	0,609	0,888	1,498	1,498	1,498	1,498	40
Diesel Check: LOW	0,660	0,889	1,516	1,517	1,518	1,517	
Maior: 43,4	0,612	0,882	1,544	1,545	1,543	1,544	
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO							
	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)				Número Ceta
			1	2	3	Média	
Padrão menor: 45,1	0,602	0,930	1,561	1,560	1,562	1,561	46
Amostra: B7	0,602	0,935	1,580	1,581	1,582	1,581	
Padrão maior: 50,1	0,598	0,930 0,598	1,623	1,623	1,623	1,623	
Cálculos e/ou observações:							
1 pol = 2,54 cm			S - 62				
			X - 20				
Data do ensaio: 21.03.16							
 Técnico executor			 Conferente				

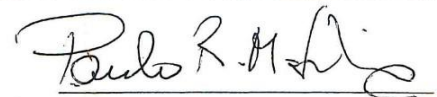
Figura 60 - Análise do Número de Cetano para o B-20 (INMETRO, 2016)

	REGISTRO DOS RESULTADOS DE NÚMERO DE CETANO UTILIZANDO MOTORES CFR			FOR N.º FOR-DIMCI-304	REV. Nº 05		
				APROVAÇÃO JUN/2015	PÁGINA 01/01		
Referências: NIT-Lamoc-003				Responsabilidade: DIMCI/DQUIM			
MÉTODO ASTM D 613 / 14							
Produto: DIESEL + BIODIESEL		Solicitante: MARCO 1F/TO		Identificação: B 20			
Identificação interna: LAMCO10/16		Data: NÃO CONSTA		Processo: NÃO SE APLICA			
INFORMAÇÕES DO MOTOR							
Horímetro: 488,4			Temperatura do óleo (°F): 135				
Temperatura do ar de admissão (°F): 150			Pressão do óleo (psi): 29				
Temperatura do refrigerante do injetor (°F): 100			Nível do óleo do cárter: OK				
Temperatura do liq. arrefecimento (°F): 212			Nível do óleo da bomba de combustível: OK				
Nível do liq. arrefecimento: OK			Folga válvula de admissão: OK				
Fenda 0° PMS: OK			Folga válvula de exaustão: OK				
IDENTIFICAÇÃO PADRÕES							
Diesel Check (LOW): LOT ODP CF 101 T (22): LOT T-22		U (15): LOT U-15					
ESTIMATIVA PRELIMINAR							
Taxa de compressão (pol)			Número de Cetano				
/			/				
ENQUADRAMENTO							
Padrões	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)				Número Cetar
			1	2	3	Média	
Menor: 38,3	0,609	0,888	1,498	1,498	1,498	1,498	40
Diesel Check: LOW	0,660	0,889	1,516	1,517	1,518	1,517	
Maior: 43,4	0,612	0,882	1,544	1,545	1,543	1,544	
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO							
	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)				Número Ceta
			1	2	3	Média	
Padrão menor: 45,1	0,602	0,930	1,560	1,561	1,562	1,561	46
Amostra: B 20	0,598	0,923	1,568	1,571	1,574	1,571	
Padrão maior: 50,1	0,598	0,930	1,605	1,623	1,612	1,613	
Cálculos e/ou observações:							
1 pol = 2,54 cm						$S - 52$ $X - 10$	

Data do ensaio: 21/03/16

CLÁUDIO CB

Técnico executor



Conferente

Figura 61 - Análise do Número de Cetano para o B-30 (INMETRO, 2016)



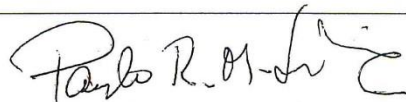
	REGISTRO DOS RESULTADOS DE NÚMERO DE CETANO UTILIZANDO MOTORES CFR			FOR N.º FOR-DIMCI-304	REV. N 05		
				APROVAÇÃO JUN/2015	PÁGINA 01/01		
Referências: NIT-Lamoc-003				Responsabilidade: DIMCI/DQUIM			
MÉTODO ASTM D 613 / 14							
Produto: DIESEL + BIODIESEL		Solicitante: MARCIO FERRETO		Identificação: B 30			
Identificação interna: LAMOC 011/16		Data: NÃO CONSTA		Processo: NÃO SE APLICA			
INFORMAÇÕES DO MOTOR							
Horímetro: 490.0		Temperatura do óleo (°F): 135					
Temperatura do ar de admissão (°F): 150		Pressão do óleo (psi): 29					
Temperatura do refrigerante do injetor (°F): 100		Nível do óleo do cárter: OK					
Temperatura do líq. arrefecimento (°F): 212		Nível do óleo da bomba de combustível: OK					
Nível do líq. arrefecimento: OK		Folga válvula de admissão: OK					
Fenda 0° PMS: OK		Folga válvula de exaustão: OK					
IDENTIFICAÇÃO PADRÕES							
Diesel Check (LOW): LOT ODPEP101		T (22): LOT T-22		U (AT): LOT U-AC			
ESTIMATIVA PRELIMINAR							
Taxa de compressão (pol)			Número de Cetano				
/			/				
ENQUADRAMENTO							
Padrões	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)			Número Cetan	
			1	2	3		Média
Menor: 38,3	0,609	0,888	1,498	1,498	1,498	1,498	40,
Diesel Check: LOW	0,660	0,889	1,516	1,517	1,518	1,517	
Maior: 43,4	0,612	0,882	1,544	1,545	1,543	1,544	
DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CETANO							
	Taxa de Injeção (pol)	Avanço da Injeção (pol)	Taxa de Compressão (pol)			Número Cetan	
			1	2	3		Média
Padrão menor: 45,1	0,602	0,930	1,560	1,561	1,562	1,561	46,
Amostra: B 30	0,611	0,918	1,578	1,580	1,582	1,580	
Padrão maior: 50,1	0,598	0,930	1,620	1,607	1,613	1,613	
Cálculos e/ou observações: 1 pol = 2,54 cm			5 - 52 X - 19				
Data do ensaio: 21/03/16							
 ELÁDIO CB Técnico executor			 Paulo R. M. de S. Conferente				

Figura 62 - Análise do Ponto de Fulgor para o B-100 (INMETRO, 2016)


	DETERMINAÇÃO DO PONTO DE FULGOR – MÉTODO PENSKY MARTENS	FOR N.º FOR-DIMCI-509	REV. N.º 01
		APROVAÇÃO JUN/2015	PÁGINA 01/01
Referências: NIT-Lamoc-008		Responsabilidade: DIMCI/DQUIM	
Técnico: <i>Thiriani Fernandes Mello</i>			
Temperatura (°C): <i>23,6</i>		Umidade (%): <i>70,4</i>	
Data: <i>22/03/2016</i>			
Amostra		Resultado (°C)	
<i>Produtol de soja</i>		<i>172,0</i>	
<i>Produtol de soja</i>		<i>180,0</i>	
<i>Produtol de soja</i>		<i>182,0</i>	
<i>Produtol de soja</i>		<i>176,0</i>	
Conferente:			
Técnico:			
Temperatura (°C):		Umidade (%):	
Data:			
Amostra		Resultado (°C)	
Técnico:			
Temperatura (°C):		Umidade (%):	
Data:			
Amostra		Resultado (°C)	
Técnico:			
Temperatura (°C):		Umidade (%):	
Data:		Pressão Barométrica (mmHg):	
Amostra		Resultado (°C)	

Figura 63 - Análise Propriedades para o B-100 (GRANOL, 2016)

CERTIFICADO DA QUALIDADE
 Nº 016.16 - 12 Fevereiro, 2016
 Laboratório cadastrado na ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis)
 Cadastro: 053 - Processo ANP: 48600.001221/2013-20 CRQ: 002465 - XII Região

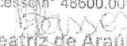
FC-BIO-002 versão 00

Identificação do Produtor:	Granol Indústria Comércio e Exportação S/A		
Produto:	Éster Metílico de Óleo Misto* (Biodiesel - B100)	Rota:	Metilica
Composição:	* 100% Óleo de Soja		
Data de Produção:	05/02/2016	Data de Análise (inicial e final):	08/02/16 a 10/02/16
Número do Lote:	BIO-016-16		
Tanque:	1007D	Quantidade:	562.120L
Lacres do Tanque	0566884 / 0566818 / 0566897		
Lacre da Amostra Testemunha:	0602925 / 0602951		
Relatório de ensaio:	PO 016-16 / AN.048-16		

Característica	Unidade	Método de Ensaio	Resultado	Especificação (3)	Laboratório
Aspecto a 24,5°C	-	VISUAL	LII	LII (1)	058
Massa Específica a 20°	kg/m³	NBR 7148	881,9	850 a 900	058
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm²/s	NBR 10441	4,129	3,0 a 6,0	058
Teor de água	mg/kg	EN ISO 12937	166	Máx. 200	058
Contaminação Total	mg/kg	NBR 15995	9,0	Máx. 24	058
Ponto de fulgor	°C	ASTM D93	146,8	Mín. 100	058
Teor de éster	% massa	EN 14103	96,5	Mín. 96,5	058
Cinzas Sulfatadas	% massa	NBR 6294	Nota(5)	Máx. 0,02	058
Enxofre Total	mg/kg	ASTM D 5453	1,0	Máx. 10	058
Sódio e Potássio	mg/kg	NBR 15553	1,6	Máx. 5	006
Cálcio e Magnésio	mg/kg	NBR 15553	<0,5	Máx. 5	006
Fósforo	mg/kg	NBR 15553	<0,1	Máx. 10	006
Corrosividade ao Cobre, 3 h a 50° C	-	NBR 14359	Nota(5)	Máx. 1	058
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	NBR 14747	-3	Tabela II (2)	058
Índice de saponificação	mg KOH/g	NBR 14448	0,48	Máx. 0,50	058
Glicerol livre	% massa	ASTM D6584	0,007	Máx. 0,02	058
Glicerol total	% massa	ASTM D6584	0,146	Máx. 0,25	058
Monoglicérol	% massa	ASTM D6584	0,422	Máx. 0,70	058
Diaglicérol	% massa	ASTM D6584	0,119	Máx. 0,20	058
Triaglicérol	% massa	ASTM D6584	0,122	Máx. 0,20	058
Metanol	% massa	EN 14110	Nota(4)	Máx. 0,20	058
Índice de iodo	g I/100g	EN 14111	120	Anotar	058
Estabilidade à oxidação a 110° C	h	EN 14112	12,3	Mín. 8	058

Nota:

- 1) LII = Límpido e isento de impurezas.
- 2) Especificação conforme Resolução N° 45 de 25 agosto 2014 e Regulamento Técnico ANP n° 3/2014.
- 3) Tabela II - Ponto de entupimento de filtro a frio, Regulamento técnico ANP n° 3/2014.
- 4) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol.
- 5) Análises de cinzas sulfatadas e corrosividade ao cobre serão realizadas trimestralmente conforme Resolução N° 45 de 25 agosto 2014 e Regulamento Técnico ANP n° 3/2014.
- 6) Os ensaios de teores de Sódio, Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo foram realizados no no Laboratório de Biodiesel de Anápolis - GO, cadastrado na ANP sob o número 006, de acordo com o processo n° 48600.001004/2009-19. Os demais ensaios foram realizados neste laboratório.


Maria Beatriz de Araújo Passos
 CRQ-12300700 - XII Região
 Gerente da Qualidade

APÊNDICE II – PLANILHAS DE DADOS DAS CURVAS DE DESEMPENHO

Tabela 31 - Dados do Diesel da Amostra 1 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO													
GIRO	DESEMPENHO				TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	CONSUMO	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	34,0	135,0	100	9,9	87,9	79,4	76,7	52,6	293,7	13,1	0,19	2,43	-1,7
2300	84,0	350,0	100	18,6	92,6	83,6	79,1	70,0	400,0	12,4	0,47	7,03	1,2
2200	81,8	357,0	100	18,1	95,9	77,8	72,8	78,9	424,3	13,9	0,47	6,90	1,1
2100	79,9	364,0	100	17,4	97,0	82,7	72,2	77,1	433,7	12,7	0,42	6,15	0,8
2000	77,6	375,0	100	16,6	98,3	78,3	72,3	74,7	441,2	14,2	0,52	7,88	1,7
1900	75,6	378,0	100	16,0	97,1	80,8	76,0	70,3	448,0	12,7	0,56	8,57	2,1
1800	71,8	385,0	100	15,2	97,6	80,2	73,7	66,6	456,0	13,6	0,67	10,48	3,1
1700	75,4	370,0	100	13,9	97,0	79,0	73,0	62,1	458,7	13,1	0,79	13,07	4,3
1600	60,2	360,0	100	12,8	96,6	79,6	74,0	56,2	460,0	12,1	0,83	14,09	4,8
1500	55,5	355,0	100	11,8	95,2	80,0	74,3	51,5	460,0	13,1	1,10	20,42	7,4
1400	49,6	340,0	100	10,8	96,2	79,7	73,6	46,9	458,7	12,1	1,36	27,70	9,9
1300	46,7	345,0	100	9,9	95,2	79,2	73,0	43,3	465,0	13,5	1,76	42,17	14,1
1200	43,8	349,0	100	9,5	93,8	79,7	73,0	38,4	478,0	12,1	2,17	60,41	18,2
1100	41,5	355,0	100	9,0	93,4	80,3	73,7	36,2	487,0	12,8	2,58	84,55	22,4
1000	38,3	370,0	100	8,4	91,4	80,4	73,1	34,3	497,5	12,3	2,70	92,25	23,6

Tabela 32 - Dados do Diesel da Amostra 2 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO													
GIRO	DESEMPENHO				TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	CONSUMO	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	13,2	51,0	100	6,0	93,1	86,0	81,0	51,4	260,1	13,1	0,13	1,71	-2,2
2300	83,1	345,0	100	18,3	95,5	81,5	78,8	69,3	401,0	11,9	0,42	6,15	0,8
2200	72,2	357,0	100	18,0	99,2	85,2	79,0	76,5	424,0	13,4	0,43	6,18	0,7
2100	79,5	360,0	100	17,2	99,3	75,9	70,7	76,4	432,1	12,2	0,45	6,57	0,9
2000	77,9	370,0	100	16,7	99,5	82,8	70,7	74,7	444,1	14,0	0,45	6,80	0,9
1900	75,5	379,0	100	16,0	99,7	79,3	72,5	69,0	448,4	12,5	0,59	9,08	2,3
1800	71,7	380,0	100	15,1	99,0	78,8	72,9	66,5	455,1	13,2	0,62	9,60	2,6
1700	65,5	370,0	100	13,8	98,0	80,3	74,8	62,0	458,1	13,4	0,67	10,61	3,1
1600	60,2	360,0	100	12,7	98,0	81,8	75,6	56,1	458,0	12,1	0,83	14,08	4,8
1500	55,5	354,0	100	11,7	96,8	79,4	72,4	51,7	459,0	13,0	1,11	20,80	7,5
1400	50,0	340,0	100	10,6	95,3	79,0	73,0	46,9	458,2	12,3	1,38	28,54	10,2
1300	46,6	340,0	100	9,9	93,6	80,0	74,0	42,6	464,0	11,6	1,82	44,77	14,7
1200	43,7	350,0	100	9,4	93,0	80,6	74,2	40,8	479,0	13,8	2,30	68,68	19,8
1100	41,5	362,0	100	8,9	93,1	78,9	71,7	36,0	486,0	12,0	2,59	85,00	22,5
1000	38,5	360,0	100	8,5	91,2	79,2	72,0	34,2	498,0	13,3	2,63	87,87	22,9

Tabela 33 - Dados do Diesel da Amostra 3 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO													
GIRO	DESEMPENHO				TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	CONSUMO	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	24,7	100,0	100	8,0	87,0	86,0	82,0	51,0	280,0	13,3	0,17	2,21	-1,8
2300	83,0	340,0	100	18,2	89,8	77,6	73,5	57,5	378,0	12,0	0,44	6,43	0,9
2200	82,6	360,0	100	18,0	92,5	82,0	78,0	72,5	410,0	13,0	0,42	6,15	0,7
2100	80,2	364,0	100	17,3	95,8	79,0	70,0	74,4	425,9	12,6	0,46	6,69	1,0
2000	78,5	371,0	100	16,6	95,3	76,9	72,0	72,4	435,3	11,9	0,49	7,37	1,4
1900	76,2	382,0	100	16,2	96,2	83,0	78,0	70,8	446,0	13,8	0,54	8,10	1,8
1800	72,1	386,0	100	15,1	97,0	78,0	72,0	65,3	452,0	12,3	0,59	9,17	2,4
1700	65,0	370,0	100	13,8	97,1	80,0	74,0	61,2	456,0	13,2	0,71	11,44	3,5
1600	60,5	366,0	100	12,7	96,6	80,0	73,0	55,0	457,0	12,0	0,96	17,02	6,0
1500	55,9	354,0	100	11,7	95,3	77,3	70,2	50,5	457,6	11,0	1,14	21,63	7,8
1400	50,5	342,0	100	10,7	93,7	77,0	71,0	44,7	455,9	11,5	1,30	29,05	10,4
1300	47,1	340,0	100	9,8	92,6	79,0	73,0	42,1	461,8	12,1	1,79	43,54	14,4
1200	44,2	350,0	100	9,5	91,9	82,7	77,4	37,4	477,8	11,5	2,22	63,05	18,7
1100	41,9	363,0	100	9,0	92,1	82,8	75,0	36,2	486,6	13,1	2,58	84,03	22,4
1000	38,4	370,0	100	8,4	91,0	78,0	70,0	33,5	495,0	11,6	2,60	85,85	22,6

Tabela 34 - Dados do B-20 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	28,6	114,0	100	14,47	14,17	93,8	76,0	60,8	50,0	276,5	12,1	0,14	1,88	-2,1
2300	84,0	348,0	100	14,10	13,48	94,9	83,0	74,0	59,9	380,1	12,7	0,35	4,94	0,0
2200	82,2	357,0	100	13,29	12,68	99,9	86,2	55,1	78,7	423,5	12,3	0,37	5,31	0,2
2100	80,0	364,0	100	12,56	11,97	102,3	89,0	49,9	78,4	436,1	13,3	0,42	6,17	0,7
2000	79,0	378,0	100	11,17	10,61	94,2	85,3	76,8	51,8	348,0	12,3	0,46	6,71	1,1
1900	75,0	378,0	100	10,55	10,01	99,6	82,0	64,6	66,3	435,2	12,5	0,51	7,61	1,5
1800	71,8	381,0	100	9,92	9,40	99,8	81,9	60,5	65,1	449,9	12,6	0,68	10,79	3,2
1700	66,3	372,0	100	9,34	8,87	99,5	84,4	61,8	61,5	456,9	12,5	0,82	13,85	4,7
1600	60,8	362,0	100	8,79	8,37	99,8	85,7	54,9	55,6	457,1	12,6	1,03	18,50	6,6
1500	54,9	350,0	100	8,30	7,91	97,3	79,2	52,3	50,7	453,7	12,4	1,35	27,70	9,9
1400	49,2	336,0	100	7,85	7,50	94,9	76,6	59,0	46,0	449,5	12,1	1,70	39,79	13,5
1300	45,7	336,0	100	7,45	7,13	93,2	84,0	66,2	41,2	453,4	12,8	1,99	51,80	16,4
1200	41,8	332,0	100	7,07	6,76	92,5	80,5	49,9	38,3	460,5	11,9	2,43	74,76	20,8
1100	39,5	344,0	100	6,72	6,43	91,0	82,9	55,6	35,3	467,9	12,0	2,80	99,79	24,7
1000	37,0	353,0	100	6,39	6,12	90,0	81,5	60,0	33,5	480,0	11,8	2,88	105,53	25,5

Tabela 35 - Dados do B-20 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	24,0	99,0	100	31,46	31,20	90,6	77,5	74,7	56,0	286,0	13,6	0,14	1,73	-2,2
2300	83,0	343,0	100	31,05	30,42	94,3	85,5	81,7	70,8	400,0	14,0	0,36	5,05	0,0
2200	82,4	355,0	100	30,26	29,64	96,3	81,4	78,0	80,0	425,0	14,3	0,38	5,43	0,3
2100	80,0	365,0	100	29,44	28,85	97,1	76,7	71,7	78,0	434,0	14,4	0,41	5,86	0,5
2000	77,6	370,0	100	28,72	28,15	98,4	80,6	70,6	75,5	442,0	14,4	0,49	7,29	1,4
1900	75,6	380,0	100	28,05	27,50	98,1	83,9	78,4	70,9	449,2	14,4	0,56	8,61	2,1
1800	71,9	381,0	100	27,42	26,90	98,0	77,8	70,0	67,0	455,8	14,6	0,72	11,76	3,7
1700	76,8	380,0	100	26,79	26,30	96,7	82,5	76,2	62,3	454,6	14,4	0,81	13,60	4,5
1600	61,2	366,0	100	26,10	25,65	94,5	79,6	73,0	55,3	458,6	14,4	1,00	18,01	6,4
1500	55,7	354,0	100	25,52	25,11	95,6	79,6	72,6	51,0	457,2	14,4	1,30	26,21	9,5
1400	50,6	345,0	100	25,00	24,66	93,6	80,2	73,9	46,6	456,6	14,1	1,59	35,80	12,4
1300	46,8	345,0	100	24,56	24,22	93,1	80,0	73,5	42,5	461,8	13,9	1,91	48,58	15,6
1200	42,9	341,0	100	24,15	23,84	91,6	79,5	73,0	39,4	470,0	14,1	2,36	71,19	20,2
1100	40,7	355,0	100	23,78	23,48	91,0	79,8	72,8	36,6	477,9	14,0	2,54	81,58	22,0
1000	37,6	360,0	100	23,43	23,15	89,7	79,9	73,0	35,0	488,6	13,8	2,67	90,57	23,4

Tabela 36 - Dados do B-20 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	28,3	110,0	100	17,36	17,04	87,3	74,0	71,0	61,0	302,0	14,3	0,13	1,68	-2,2
2300	84,0	349,0	100	16,82	16,2	92,7	83,5	76,0	72,0	405,0	13,6	0,38	5,30	0,2
2200	82,3	357,0	100	16,03	15,43	95,4	81,1	75,9	84,4	428,6	13,7	0,44	6,43	0,9
2100	79,8	363,0	100	14,76	15,34	97,0	79,5	73,0	78,5	435,0	13,5	0,55	8,37	1,9
2000	77,6	369,0	100	14,03	14,59	97,7	80,3	72,8	74,5	441,0	13,7	0,54	8,37	1,9
1900	75,1	375,0	100	13,32	13,89	96,9	80,3	74,4	70,3	446,7	13,4	0,576	8,76	2,15
1800	72,72	383,0	100	12,83	12,33	96,4	79,2	72,8	64,9	453,3	13,4	0,68	10,68	3,15
1700	66,97	379,0	100	12,15	11,67	96,9	80,3	73,3	60,4	457,7	13,5	0,855	14,46	4,93
1600	61,0	373,0	100	11,55	11,11	96,0	79,5	72,6	55,3	458,2	13,6	1,05	19,18	6,90
1500	55,97	355,0	100	11,05	10,66	94,5	80,1	73,8	51,3	456,9	13,7	1,38	27,17	9,77
1400	49,6	337,0	100	10,55	10,19	93,9	79,6	73,3	45,5	451,4	13,8	1,17	40,38	13,61
1300	46,21	341,0	100	10,08	9,74	92,6	79,6	73,9	41,3	454,0	13,3	1,93	49,16	15,76
1200	42,0	336,0	100	9,66	9,35	91,6	80,8	74,7	37,7	459,3	13,3	2,20	62,15	18,51
1100	40,0	347,0	100	9,27	8,97	90,2	78,7	72,3	34,9	467,9	13,3	2,65	89,00	19,0
1000	37,0	356,0	100	8,87	8,59	89,1	80,8	74,5	33,2	480,8	13,5	2,83	99,35	24,62

Tabela 37 - Dados do B-50 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	28,0	113,0	100	38,77	38,47	88,7	77,0	73,0	55,0	295,0	11,8	0,09	1,17	-2,6
2300	82,0	340,0	100	38,35	37,69	91,6	83,0	79,5	64,8	388,0	12,7	0,25	3,47	-0,1
2200	81,5	352,0	100	36,70	36,06	93,7	78,8	71,8	72,2	410,0	12,0	0,25	3,45	-1,0
2100	78,9	356,0	100	35,90	35,30	97,4	82,8	75,2	77,3	428,0	13,8	0,23	3,12	-1,2
2000	76,5	366,0	100	35,19	34,60	97,8	80,8	73,6	74,0	437,0	12,3	0,25	3,40	-1,0
1900	74,0	374,0	100	34,50	33,96	98,2	78,3	68,3	71,1	444,0	12,6	0,28	3,90	-0,7
1800	70,7	375,0	100	33,82	33,30	97,8	81,8	72,4	65,8	450,0	12,0	0,38	5,46	0,3
1700	64,9	370,0	100	33,08	32,60	97,1	80,6	72,1	58,7	450,2	11,7	0,46	6,79	1,1
1600	58,9	348,0	100	32,50	32,07	97,0	79,2	69,6	54,9	449,0	12,1	0,61	9,52	2,6
1500	53,6	342,0	100	31,91	31,58	95,3	80,4	72,3	49,0	446,5	11,6	0,73	11,79	3,7
1400	49,2	335,0	100	31,51	31,15	93,4	77,7	69,1	44,5	446,0	11,7	0,95	16,95	6,0
1300	46,1	340,0	100	30,94	30,60	92,3	80,8	73,8	40,2	451,3	11,4	1,31	26,52	9,6
1200	43,4	344,0	100	30,51	30,18	91,5	80,4	72,1	37,4	466,0	11,2	1,80	44,94	14,8
1100	40,8	353,0	100	30,14	29,82	90,8	79,4	72,3	36,1	475,3	12,3	2,34	69,81	20,0
1000	38,1	374,0	100	29,76	29,47	90,2	80,2	71,4	34,2	488,3	12,4	2,53	81,05	21,9

Tabela 38 - Dados do B-50 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	27,0	110,0	100	28,87	28,57	91,5	82,5	77,0	47,5	274,0	12,3	0,12	1,76	-2,3
2300	80,4	336,0	100	28,47	27,85	93,6	79,9	75,7	61,8	379,0	11,6	0,27	3,72	-0,8
2200	78,8	342,0	100	27,73	27,12	98,8	76,9	66,3	77,9	416,0	12,0	0,23	3,18	-1,2
2100	77,2	351,0	100	27,00	26,42	100,0	82,7	72,0	76,8	427,9	11,9	0,21	2,80	-1,4
2000	75,3	358,0	100	26,29	25,72	99,9	79,6	71,4	73,5	435,0	12,1	0,25	3,47	-1,0
1900	72,6	365,0	100	25,60	25,06	99,7	80,0	69,0	69,7	441,0	11,6	0,29	4,03	-0,6
1800	69,1	368,0	100	24,96	24,45	98,7	80,0	72,2	65,5	447,0	12,1	0,32	4,55	-0,3
1700	63,7	357,0	100	24,36	23,88	97,9	79,5	69,5	60,8	450,0	13,7	0,41	5,90	0,5
1600	57,6	345,0	100	23,79	23,36	97,2	80,5	72,0	54,5	447,0	11,8	0,55	8,44	2,0
1500	52,2	333,0	100	23,29	22,90	95,5	68,3	69,0	50,0	443,0	13,0	0,75	12,35	4,0
1400	48,0	330,0	100	22,84	22,48	93,5	79,0	71,2	45,5	443,0	13,9	1,12	21,01	7,6
1300	44,6	328,0	100	22,40	22,06	93,4	81,3	74,5	41,5	447,0	12,1	1,59	35,77	12,3
1200	41,8	330,0	100	21,99	21,67	93,8	80,2	72,2	39,0	460,0	13,1	1,96	50,88	16,2
1100	39,7	340,0	100	21,55	21,24	91,7	79,9	72,7	35,1	468,0	11,8	2,46	77,05	21,2
1000	37,3	355,0	100	21,20	20,91	90,5	80,3	72,9	33,6	479,0	11,3	2,13	59,87	17,9

Tabela 39 - Dados do B-50 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	24,9	100,0	100	15,11	14,83	96,7	76,0	67,6	64,3	304,0	13,3	0,11	1,40	-2,4
2300	81,0	334,0	100	14,74	14,11	95,9	82,0	77,0	64,0	385,2	13,5	0,23	3,15	-1,2
2200	79,6	345,0	100	13,90	13,28	99,2	75,8	68,0	77,7	416,0	13,0	0,24	3,32	-1,1
2100	77,5	350,0	100	13,16	12,58	101,1	78,0	66,0	76,0	424,0	12,3	0,24	3,25	-1,1
2000	75,5	358,0	100	12,43	11,87	100,0	82,3	74,7	72,3	431,3	12,8	0,29	3,98	-0,7
1900	72,8	365,0	100	11,72	11,18	99,6	79,0	70,0	68,4	437,0	13,5	0,30	4,13	-0,6
1800	69,7	370,0	100	10,76	10,24	98,8	78,2	68,9	63,9	442,6	13,2	0,39	5,67	0,4
1700	64,8	366,0	100	10,04	9,56	98,0	80,3	70,4	57,7	445,0	12,8	0,46	6,72	1,0
1600	59,5	354,0	100	9,49	9,05	97,7	79,7	71,3	54,0	447,0	13,7	0,57	8,70	2,1
1500	54,0	347,0	100	8,98	8,58	96,4	80,8	71,3	48,3	444,0	12,0	0,77	12,72	4,1
1400	48,9	334,0	100	8,43	8,07	94,4	83,6	69,0	43,0	442,1	12,6	0,98	17,45	6,2
1300	45,2	334,0	100	8,02	7,69	93,0	72,1	64,5	40,2	444,8	12,1	1,33	26,99	9,7
1200	41,8	330,0	100	7,64	7,33	91,7	88,5	74,2	37,4	455,2	12,6	1,85	45,97	15,0
1100	39,6	345,0	100	7,28	6,98	91,5	79,9	71,0	34,7	463,6	13,0	2,15	59,85	18,1
1000	36,9	357,0	100	6,92	6,63	90,0	81,0	72,8	33,0	476,4	13,6	2,24	64,17	18,9

Tabela 40 - Dados do B-100 da Amostra 1 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	26,3	104,0	100	46,47	46,16	92,6	85,0	74,3	48,8	277,0	13,0	0,08	1,07	-2,7
2300	78,3	326,0	100	46,04	45,39	94,0	81,4	77,3	60,7	371,0	12,0	0,11	1,50	-2,4
2200	77,0	334,0	100	45,25	44,60	98,4	75,7	67,9	75,4	406,0	12,4	0,11	1,47	-2,4
2100	75,3	334,0	100	44,50	43,88	100,0	77,7	65,2	74,5	417,0	12,7	0,12	1,61	-2,3
2000	73,9	351,0	100	43,69	43,09	99,9	83,6	75,9	71,8	427,3	13,0	0,14	1,86	-2,1
1900	71,9	360,0	100	43,01	42,43	100,0	79,0	69,8	68,7	434,3	14,0	0,20	2,65	-1,5
1800	68,9	364,0	100	42,33	41,78	99,6	80,0	69,5	64,3	440,7	13,4	0,25	3,43	-1,0
1700	64,5	363,0	100	41,62	41,10	99,0	82,0	64,0	58,4	445,9	13,5	0,31	4,34	-0,4
1600	60,0	357,0	100	40,95	40,48	98,3	79,4	69,1	53,5	448,2	13,0	0,43	6,20	0,7
1500	54,7	347,0	100	40,38	39,95	97,9	78,4	64,0	49,0	447,7	12,0	0,58	8,90	2,2
1400	49,9	339,0	100	39,88	39,48	95,0	77,6	67,5	44,5	447,0	12,0	0,88	15,11	5,2
1300	46,8	343,0	100	39,38	39,02	95,0	83,2	78,7	41,0	453,9	12,3	1,17	22,35	8,1
1200	44,1	350,0	100	38,91	38,57	94,5	78,2	68,5	38,0	467,4	12,4	1,67	38,64	13,2
1100	41,7	362,0	100	38,52	38,18	93,8	82,6	72,0	35,3	476,3	13,0	1,90	48,08	15,5
1000	38,2	365,0	100	38,11	37,80	92,5	81,4	68,8	33,3	485,0	11,8	1,97	51,25	16,2

Tabela 41 - Dados do B-100 da Amostra 2 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	25,6	96,0	100	36,88	36,57	74,7	85,4	82,3	46,8	269,4	12,0	0,07	0,93	-2,8
2300	78,0	320,0	100	36,47	35,82	82,4	80,0	76,8	60,0	368,7	12,2	0,12	1,59	-2,3
2200	77,2	334,0	100	35,69	35,04	90,9	75,7	64,3	75,8	406,6	12,5	0,11	1,46	-2,4
2100	75,8	340,0	100	34,90	34,28	94,0	85,5	76,5	74,9	419,5	12,6	0,10	1,33	-2,5
2000	74,0	352,0	100	34,20	33,60	97,0	77,8	64,5	72,3	429,1	12,7	0,14	1,78	-2,2
1900	72,2	363,0	100	33,52	32,94	98,2	85,0	64,0	67,8	437,4	12,3	0,14	1,86	-2,1
1800	68,6	364,0	100	32,81	32,25	98,6	79,1	65,1	63,8	442,0	12,3	0,16	2,19	-1,9
1700	62,9	353,0	100	31,86	31,35	97,2	79,0	66,6	56,3	441,5	12,2	0,23	3,19	-1,2
1600	57,5	345,0	100	31,29	30,84	97,6	84,2	62,0	52,2	442,7	12,1	0,28	3,84	-0,8
1500	52,5	335,0	100	30,77	30,35	96,6	87,0	63,0	47,8	441,5	12,0	0,40	5,72	0,4
1400	48,4	328,0	100	30,20	29,80	95,7	80,5	69,0	43,2	442,5	12,1	0,55	8,46	2,0
1300	45,4	333,0	100	29,72	29,37	93,9	78,6	68,1	40,5	448,9	12,0	0,85	14,53	5,0
1200	42,7	339,0	100	29,31	28,97	93,4	79,7	68,5	37,4	463,3	12,1	1,35	27,84	10,0
1100	40,6	352,0	100	28,91	28,59	92,6	82,1	72,0	35,0	472,9	12,0	1,64	37,45	12,8
1000	37,5	357,0	100	28,52	28,21	91,8	83,6	71,0	33,5	483,9	12,2	1,75	41,96	14,0

Tabela 42 - Dados do B-100 da Amostra 3 (INMETRO, 2016)

DADOS DE FUNCIONAMENTO														
GIRO	DESEMPENHO					TEMPERATURA						OUTROS		
	POT_ABNT	TORQUE_ABNT	ACELERAÇÃO	COMBUSTÍVEL INICIAL	COMBUSTÍVEL FINAL	T_ÓLEO	T_S_ÁGUA	T_E_ÁGUA	T_COLETOR ADMISSÃO	T_ESCAPE POS TURBO	T_BULBO SECO	FSN	Fuligem	NÍVEL DE POLUIÇÃO
Rpm	kW	Nm	%	g/kWh	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	FSN	mg/m ³	%
2400	28,1	104,0	100	23,05	22,73	78,9	76,0	72,0	48,0	287,4	12,0	0,05	0,63	-3,0
2300	80,0	330,0	100	22,65	21,99	85,5	85,0	78,6	61,5	376,0	12,0	0,11	1,50	-2,4
2200	77,7	339,0	100	21,90	21,25	91,5	74,0	57,0	75,3	406,4	12,4	0,12	1,57	-2,3
2100	76,6	348,4	100	21,14	20,51	94,2	86,3	68,2	74,8	418,4	12,3	0,12	1,65	-2,3
2000	74,5	356,0	100	20,41	19,80	93,4	81,0	69,8	71,6	426,5	12,2	0,16	2,14	-1,9
1900	73,2	367,0	100	19,65	19,07	96,6	87,3	49,0	68,0	435,0	13,7	0,14	1,86	-2,1
1800	69,6	368,0	100	18,98	18,43	96,6	78,0	59,4	63,2	440,1	12,2	0,21	2,86	-1,4
1700	64,1	356,0	100	18,36	17,85	95,1	74,4	55,2	59,7	444,3	13,1	0,28	3,92	-0,7
1600	59,7	354,0	100	17,78	17,31	95,2	75,1	63,4	54,0	446,0	12,2	0,39	5,67	0,4
1500	54,5	354,0	100	17,15	16,73	94,9	82,1	65,0	49,0	446,5	12,7	0,63	9,87	2,7
1400	49,7	339,0	100	16,67	16,28	93,0	77,0	62,5	45,0	444,7	12,2	0,84	14,34	4,9
1300	46,2	340,0	100	15,10	14,73	91,2	80,4	64,6	37,3	445,8	11,8	1,10	20,43	3,4
1200	43,5	348,0	100	14,66	14,32	90,2	77,7	69,5	36,7	459,2	12,0	1,58	35,40	12,3
1100	40,9	358,0	100	14,19	13,86	89,8	82,0	67,2	34,1	470,7	12,1	1,97	51,24	16,2
1000	37,8	361,2	100	13,66	13,36	88,6	81,6	69,5	32,3	480,1	11,7	2,08	56,09	17,3

**APÊNDICE III – RESUMO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO DOS
COMBUSTÍVEIS EM ESTUDO**

Tabela 43 - Resultado das Curvas de Desempenho para o Diesel


	RESULTADO DAS CURVAS DE DESEMPENHO MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR								
	DIESEL	AMOSTRAS							
Rotação (rpm)	Potência (kW)			Torque (N.m)			Consumo Comb. (kg/h)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	34,0	13,2	24,7	135,0	51,0	100,0	9,9	6,0	8,0
2300	84,0	83,1	83,0	350,0	345,0	340,0	18,6	18,3	18,2
2200	81,8	72,2	82,6	357,0	357,0	360,0	18,1	18,0	18,0
2100	79,9	79,5	80,2	364,0	360,0	364,0	17,4	17,2	17,3
2000	77,6	77,9	78,5	375,0	370,0	371,0	16,6	16,7	16,6
1900	75,6	75,5	76,2	378,0	379,0	382,0	16,0	16,0	16,2
1800	71,8	71,7	72,1	385,0	380,0	386,0	15,2	15,1	15,1
1700	75,4	65,5	65,0	370,0	370,0	370,0	13,9	13,8	13,8
1600	60,2	60,2	60,5	360,0	360,0	366,0	12,8	12,7	12,7
1500	55,5	55,5	55,9	355,0	354,0	354,0	11,8	11,7	11,7
1400	49,6	50,0	50,5	340,0	340,0	342,0	10,8	10,6	10,7
1300	46,7	46,6	47,1	345,0	340,0	340,0	9,9	9,9	9,8
1200	43,8	43,7	44,2	349,0	350,0	350,0	9,5	9,4	9,5
1100	41,5	41,5	41,9	355,0	362,0	363,0	9,0	8,9	9,0
1000	38,3	38,5	38,4	370,0	360,0	370,0	8,4	8,5	8,4

Tabela 44 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-20


	RESULTADO DAS CURVAS DE DESEMPENHO MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR								
	(B-20)	AMOSTRAS							
Rotação (rpm)	Potência (kW)			Torque (N.m)			Consumo Comb. (kg/h)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	28,6	24,0	28,3	114,0	99,0	110,0	50,0	56,0	61,0
2300	84,0	83,0	84,0	348,0	343,0	349,0	59,9	70,8	72,0
2200	82,2	82,4	82,3	357,0	355,0	357,0	78,7	80,0	84,4
2100	80,0	80,0	79,8	364,0	365,0	363,0	78,4	78,0	78,5
2000	79,0	77,6	77,6	378,0	370,0	369,0	51,8	75,5	74,5
1900	75,0	75,6	75,1	378,0	380,0	375,0	66,3	70,9	70,3
1800	71,8	71,9	72,7	381,0	381,0	383,0	65,1	67,0	64,9
1700	66,3	76,8	66,9	372,0	380,0	379,0	61,5	62,3	60,4
1600	60,8	61,2	61,0	362,0	366,0	373,0	55,6	55,3	55,3
1500	54,9	55,7	55,9	350,0	354,0	355,0	50,7	51,0	51,3
1400	49,2	50,6	49,6	336,0	345,0	337,0	46,0	46,6	45,5
1300	45,7	46,8	46,2	336,0	345,0	341,0	41,2	42,5	41,3
1200	41,8	42,9	42,0	332,0	341,0	336,0	38,3	39,4	37,7
1100	39,5	40,7	40,0	344,0	355,0	347,0	35,3	36,6	34,9
1000	37,0	37,6	37,0	353,0	360,0	356,0	33,5	35,0	33,2

Tabela 45 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-50


	RESULTADO DAS CURVAS DE DESEMPENHO MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR								
	(B-50)	AMOSTRAS							
Rotação (rpm)	Potência (kW)			Torque (N.m)			Consumo Comb. (kg/h)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	28,0	27,0	24,9	113,0	110,0	100,0	38,47	28,57	14,83
2300	82,0	80,4	81,0	340,0	336,0	334,0	37,69	27,85	14,11
2200	81,5	78,8	79,6	352,0	342,0	345,0	36,06	27,12	13,28
2100	78,9	77,2	77,5	356,0	351,0	350,0	35,30	26,42	12,58
2000	76,5	75,3	75,5	366,0	358,0	358,0	34,60	25,72	11,87
1900	74,0	72,6	72,8	374,0	365,0	365,0	33,96	25,06	11,18
1800	70,7	69,1	69,7	375,0	368,0	370,0	33,30	24,45	10,24
1700	64,9	63,7	64,8	370,0	357,0	366,0	32,60	23,88	9,56
1600	58,9	57,6	59,5	348,0	345,0	354,0	32,07	23,36	9,05
1500	53,6	52,2	54,0	342,0	333,0	347,0	31,58	22,90	8,58
1400	49,2	48,0	48,9	335,0	330,0	334,0	31,15	22,48	8,07
1300	46,1	44,6	45,2	340,0	328,0	334,0	30,60	22,06	7,69
1200	43,4	41,8	41,8	344,0	330,0	330,0	30,18	21,67	7,33
1100	40,8	39,7	39,6	353,0	340,0	345,0	29,82	21,24	6,98
1000	38,1	37,3	36,9	374,0	355,0	357,0	29,47	20,91	6,63

Tabela 46 - Resultado das Curvas de Desempenho para o B-100


	RESULTADO DAS CURVAS DE DESEMPENHO MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR								
	(B-100)	AMOSTRAS							
Rotação (rpm)	Potência (kW)			Torque (N.m)			Consumo Comb. (kg/h)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	26,3	25,6	28,1	104,0	96,0	104,0	46,16	36,57	22,73
2300	78,3	78,0	80,0	326,0	320,0	330,0	45,39	35,82	21,99
2200	77,0	77,2	77,7	334,0	334,0	339,0	44,60	35,04	21,25
2100	75,3	75,8	76,6	334,0	340,0	348,4	43,88	34,28	20,51
2000	73,9	74,0	74,5	351,0	352,0	356,0	43,09	33,60	19,80
1900	71,9	72,2	73,2	360,0	363,0	367,0	42,43	32,94	19,07
1800	68,9	68,6	69,6	364,0	364,0	368,0	41,78	32,25	18,43
1700	64,5	62,9	64,1	363,0	353,0	356,0	41,10	31,35	17,85
1600	60,0	57,5	59,7	357,0	345,0	354,0	40,48	30,84	17,31
1500	54,7	52,5	54,5	347,0	335,0	354,0	39,95	30,35	16,73
1400	49,9	48,4	49,7	339,0	328,0	339,0	39,48	29,80	16,28
1300	46,8	45,4	46,2	343,0	333,0	340,0	39,02	29,37	14,73
1200	44,1	42,7	43,5	350,0	339,0	348,0	38,57	28,97	14,32
1100	41,7	40,6	40,9	362,0	352,0	358,0	38,18	28,59	13,86
1000	38,2	37,5	37,8	365,0	357,0	361,2	37,80	28,21	13,36

Tabela 47 - Resultado das Curvas de Potência


	RESULTADO DAS CURVAS DE <u>POTÊNCIA</u> MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR											
	Diesel			B-20			B-50			B-100		
Rotação (rpm)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	34,0	13,2	24,7	28,6	24,0	28,3	28,0	27,0	24,9	26,3	25,6	28,1
2300	84,0	83,1	83,0	84,0	83,0	84,0	82,0	80,4	81,0	78,3	78,0	80,0
2200	81,8	72,2	82,6	82,2	82,4	82,3	81,5	78,8	79,6	77,0	77,2	77,7
2100	79,9	79,5	80,2	80,0	80,0	79,8	78,9	77,2	77,5	75,3	75,8	76,6
2000	77,6	77,9	78,5	79,0	77,6	77,6	76,5	75,3	75,5	73,9	74,0	74,5
1900	75,6	75,5	76,2	75,0	75,6	75,1	74,0	72,6	72,8	71,9	72,2	73,2
1800	71,8	71,7	72,1	71,8	71,9	72,7	70,7	69,1	69,7	68,9	68,6	69,6
1700	75,4	65,5	65,0	66,3	76,8	66,9	64,9	63,7	64,8	64,5	62,9	64,1
1600	60,2	60,2	60,5	60,8	61,2	61,0	58,9	57,6	59,5	60,0	57,5	59,7
1500	55,5	55,5	55,9	54,9	55,7	55,9	53,6	52,2	54,0	54,7	52,5	54,5
1400	49,6	50,0	50,5	49,2	50,6	49,6	49,2	48,0	48,9	49,9	48,4	49,7
1300	46,7	46,6	47,1	45,7	46,8	46,2	46,1	44,6	45,2	46,8	45,4	46,2
1200	43,8	43,7	44,2	41,8	42,9	42,0	43,4	41,8	41,8	44,1	42,7	43,5
1100	41,5	41,5	41,9	39,5	40,7	40,0	40,8	39,7	39,6	41,7	40,6	40,9
1000	38,3	38,5	38,4	37,0	37,6	37,0	38,1	37,3	36,9	38,2	37,5	37,8

Tabela 48 - Resultado das Curvas de Torque



	RESULTADO DAS CURVAS DE <u>TORQUE</u> MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR											
	Diesel			B-20			B-50			B-100		
Rotação (rpm)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	135,0	51,0	100,0	114,0	99,0	110,0	113,0	110,0	100,0	104,0	96,0	104,0
2300	350,0	345,0	340,0	348,0	343,0	349,0	340,0	336,0	334,0	326,0	320,0	330,0
2200	357,0	357,0	360,0	357,0	355,0	357,0	352,0	342,0	345,0	334,0	334,0	339,0
2100	364,0	360,0	364,0	364,0	365,0	363,0	356,0	351,0	350,0	334,0	340,0	348,4
2000	375,0	370,0	371,0	378,0	370,0	369,0	366,0	358,0	358,0	351,0	352,0	356,0
1900	378,0	379,0	382,0	378,0	380,0	375,0	374,0	365,0	365,0	360,0	363,0	367,0
1800	385,0	380,0	386,0	381,0	381,0	383,0	375,0	368,0	370,0	364,0	364,0	368,0
1700	370,0	370,0	370,0	372,0	380,0	379,0	370,0	357,0	366,0	363,0	353,0	356,0
1600	360,0	360,0	366,0	362,0	366,0	373,0	348,0	345,0	354,0	357,0	345,0	354,0
1500	355,0	354,0	354,0	350,0	354,0	355,0	342,0	333,0	347,0	347,0	335,0	354,0
1400	340,0	340,0	342,0	336,0	345,0	337,0	335,0	330,0	334,0	339,0	328,0	339,0
1300	345,0	340,0	340,0	336,0	345,0	341,0	340,0	328,0	334,0	343,0	333,0	340,0
1200	349,0	350,0	350,0	332,0	341,0	336,0	344,0	330,0	330,0	350,0	339,0	348,0
1100	355,0	362,0	363,0	344,0	355,0	347,0	353,0	340,0	345,0	362,0	352,0	358,0
1000	370,0	360,0	370,0	353,0	360,0	356,0	374,0	355,0	357,0	365,0	357,0	361,2

Tabela 49 - Resultado das Curvas de Consumo de Combustível

	RESULTADO DAS CURVAS DE <u>CONSUMO COMBUSTÍVEL</u> MOTOR DIESEL (CI) TURBO-COMPRESSOR											
	Diesel			B-20			B-50			B-100		
Rotação (rpm)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
2400	9,9	6,0	8,0	50,0	56,0	61,0	38,47	28,57	14,83	46,16	36,57	22,73
2300	18,6	18,3	18,2	59,9	70,8	72,0	37,69	27,85	14,11	45,39	35,82	21,99
2200	18,1	18,0	18,0	78,7	80,0	84,4	36,06	27,12	13,28	44,60	35,04	21,25
2100	17,4	17,2	17,3	78,4	78,0	78,5	35,30	26,42	12,58	43,88	34,28	20,51
2000	16,6	16,7	16,6	51,8	75,5	74,5	34,60	25,72	11,87	43,09	33,60	19,80
1900	16,0	16,0	16,2	66,3	70,9	70,3	33,96	25,06	11,18	42,43	32,94	19,07
1800	15,2	15,1	15,1	65,1	67,0	64,9	33,30	24,45	10,24	41,78	32,25	18,43
1700	13,9	13,8	13,8	61,5	62,3	60,4	32,60	23,88	9,56	41,10	31,35	17,85
1600	12,8	12,7	12,7	55,6	55,3	55,3	32,07	23,36	9,05	40,48	30,84	17,31
1500	11,8	11,7	11,7	50,7	51,0	51,3	31,58	22,90	8,58	39,95	30,35	16,73
1400	10,8	10,6	10,7	46,0	46,6	45,5	31,15	22,48	8,07	39,48	29,80	16,28
1300	9,9	9,9	9,8	41,2	42,5	41,3	30,60	22,06	7,69	39,02	29,37	14,73
1200	9,5	9,4	9,5	38,3	39,4	37,7	30,18	21,67	7,33	38,57	28,97	14,32
1100	9,0	8,9	9,0	35,3	36,6	34,9	29,82	21,24	6,98	38,18	28,59	13,86
1000	8,4	8,5	8,4	33,5	35,0	33,2	29,47	20,91	6,63	37,80	28,21	13,36

APÊNDICE IV – CURVAS DE DESEMPENHO DOS COMBUSTÍVEIS ESTUDADOS

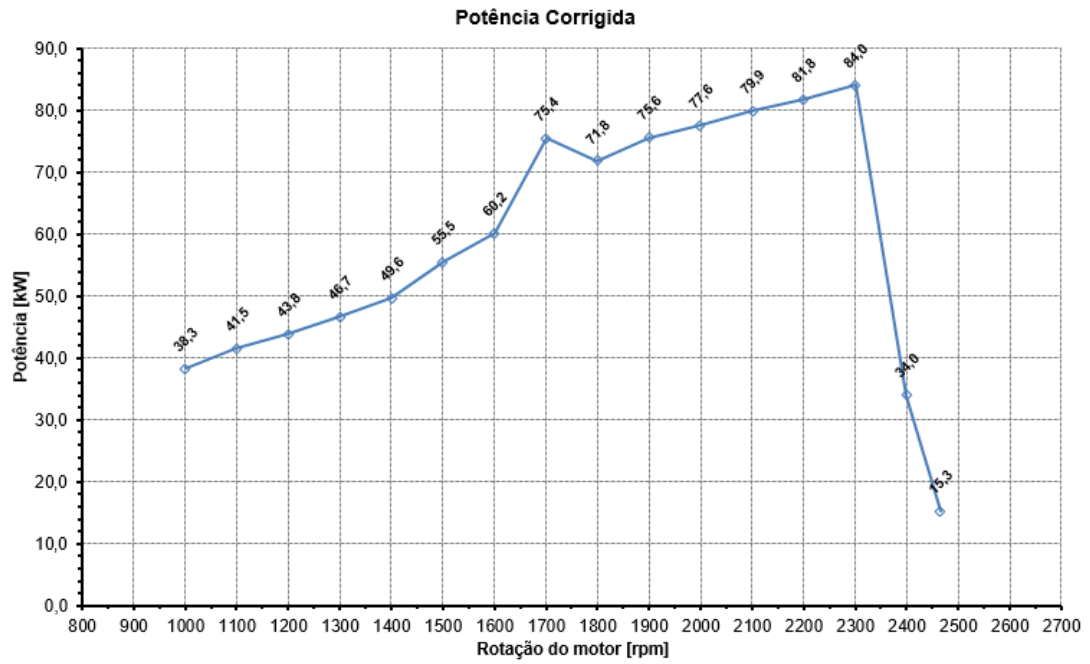
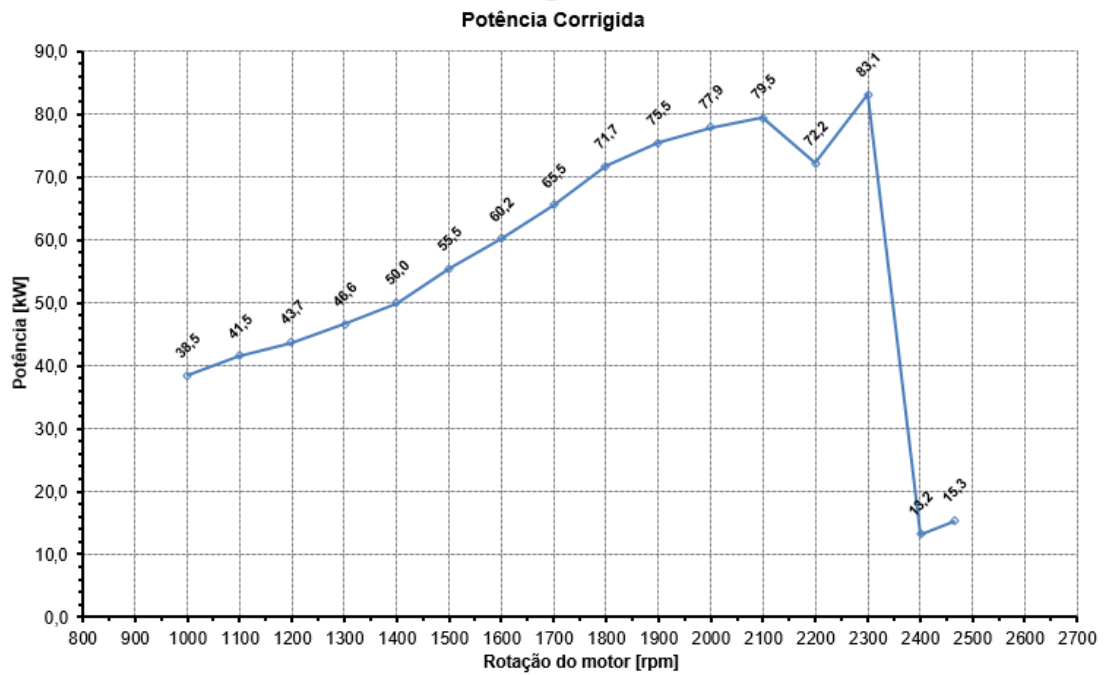
Figura 64 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R1**Figura 65 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R2**

Figura 66 - Curva de Potência para o Diesel – Amostra R3

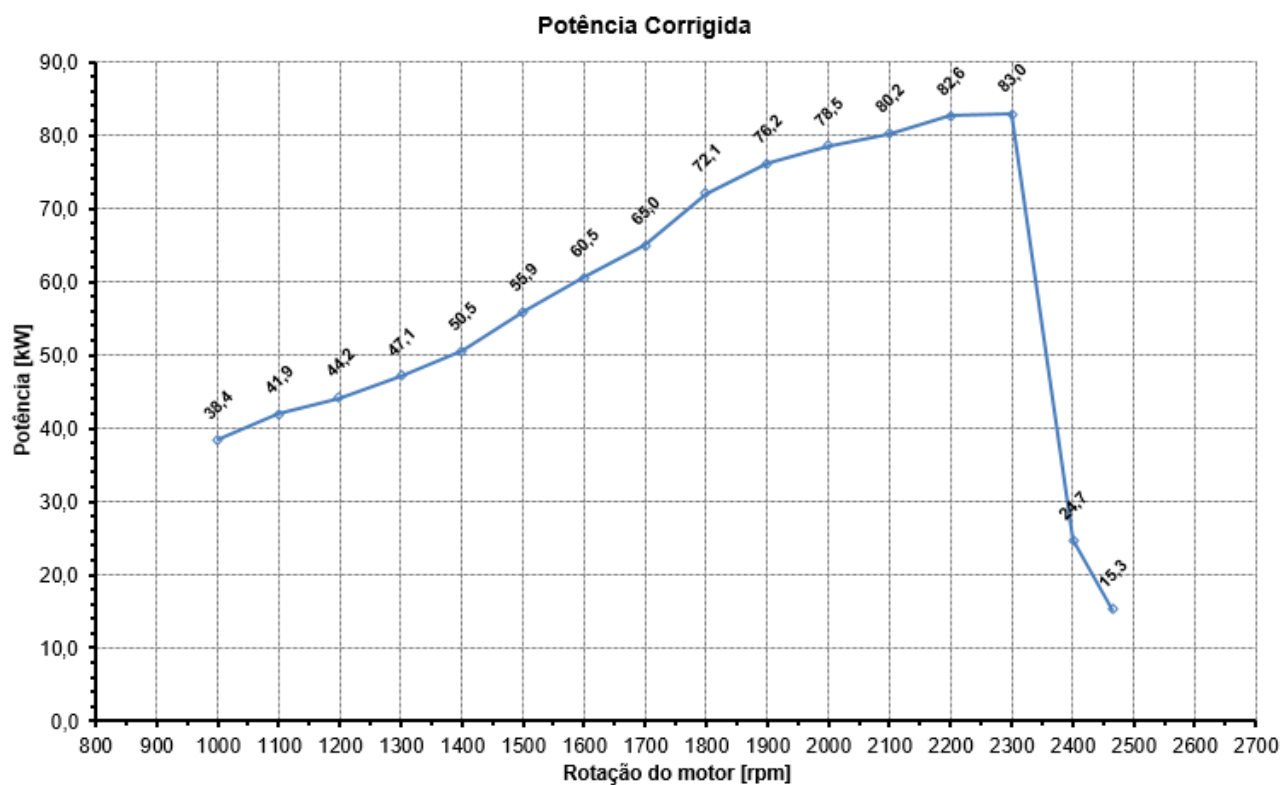


Figura 67 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R1

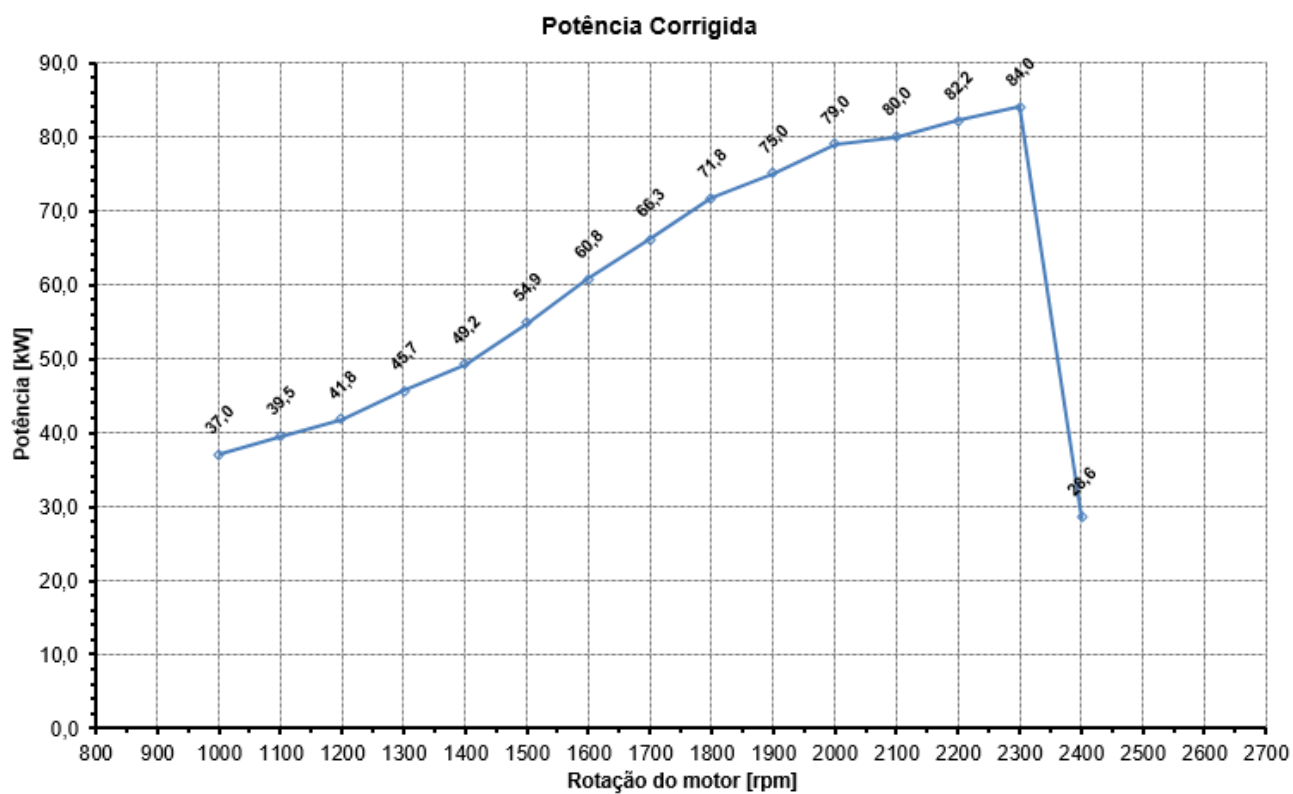


Figura 68 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R2

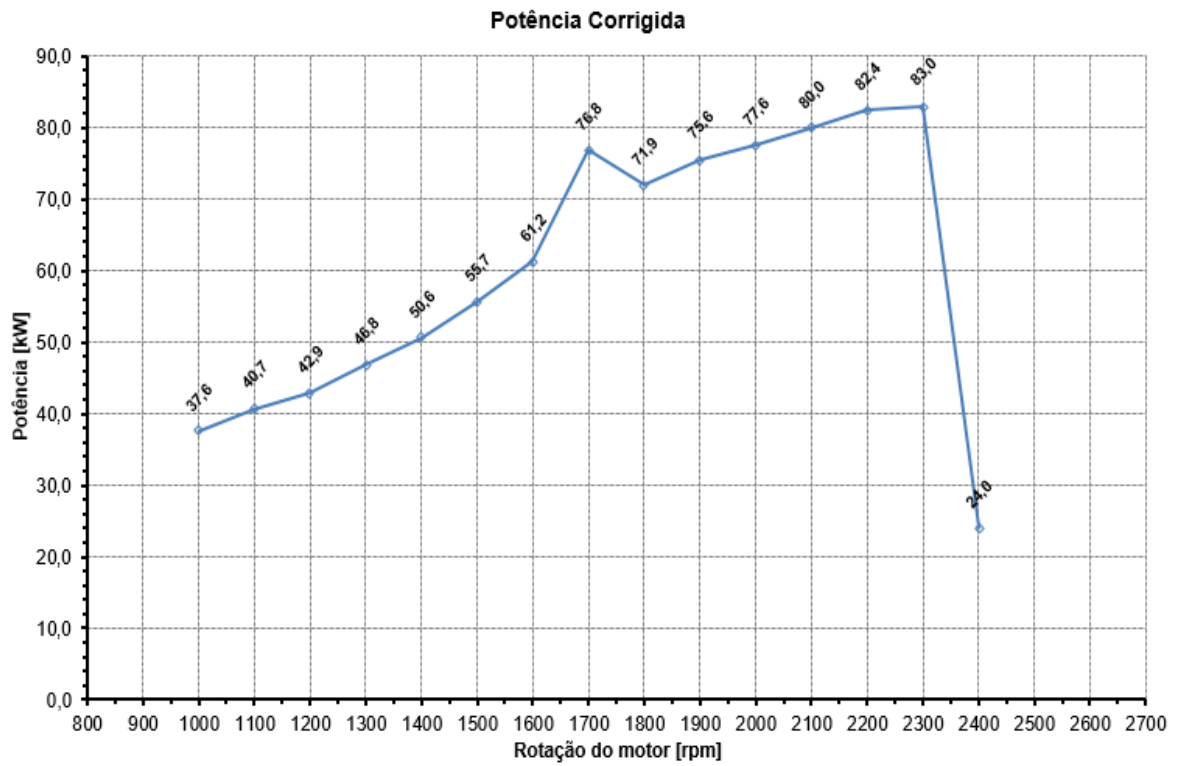


Figura 69 - Curva de Potência para o B-20 – Amostra R3

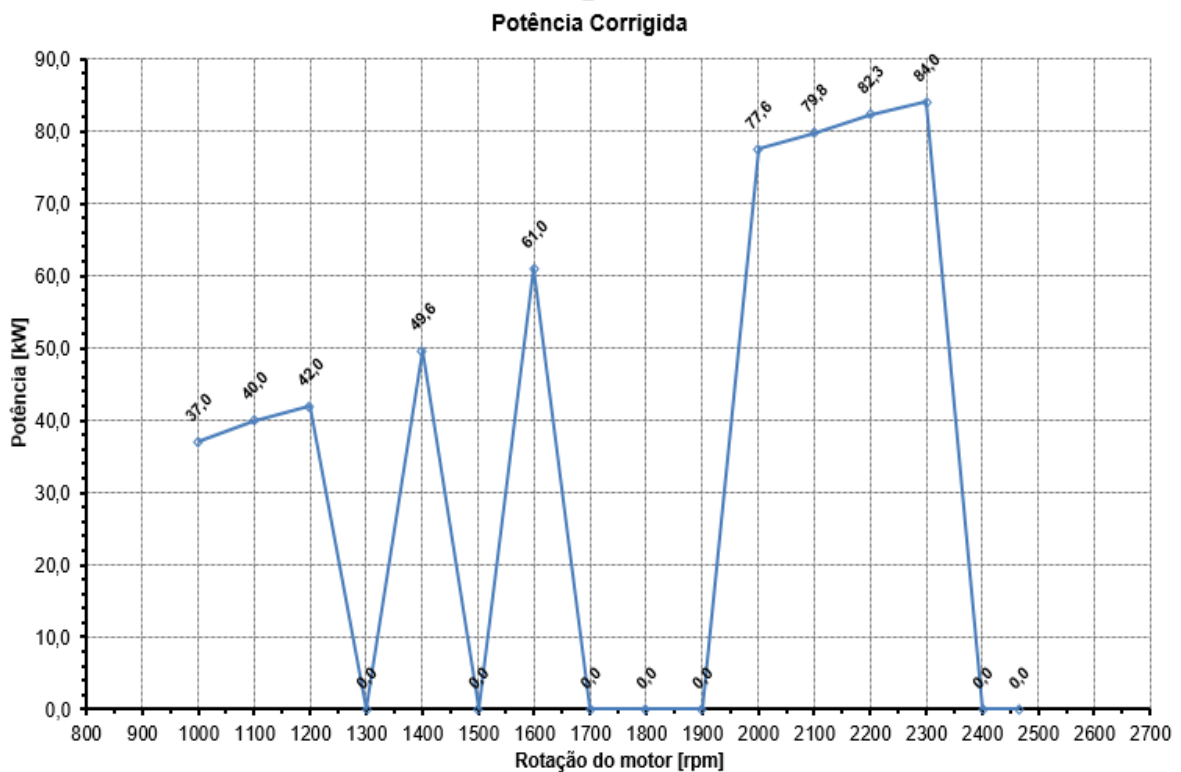


Figura 70 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R1

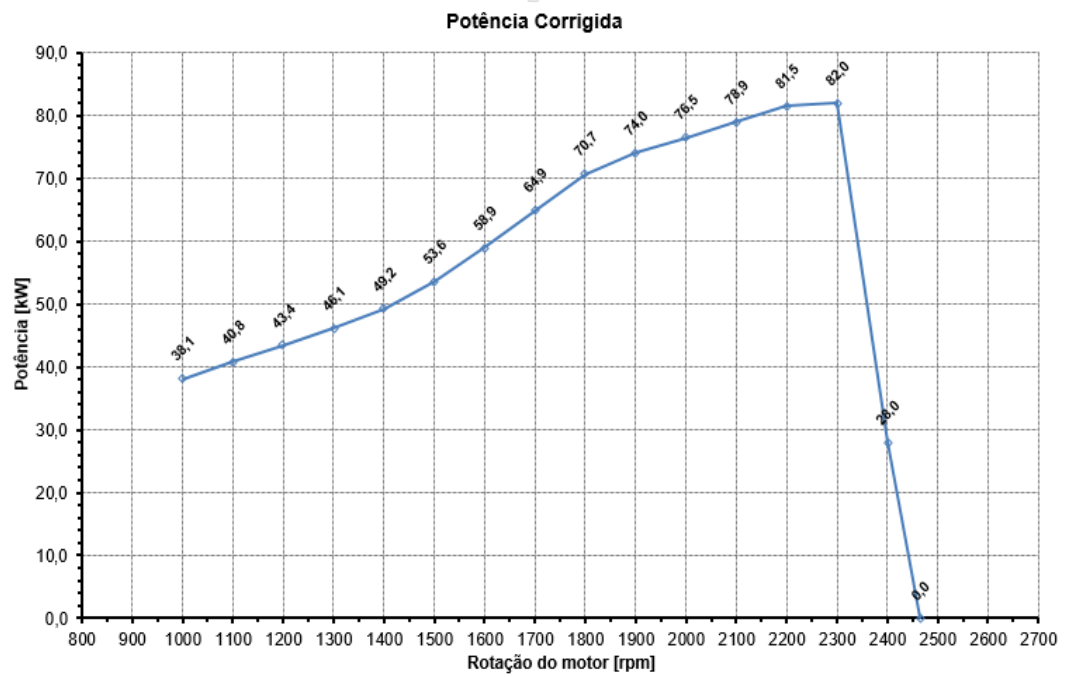


Figura 71 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R2

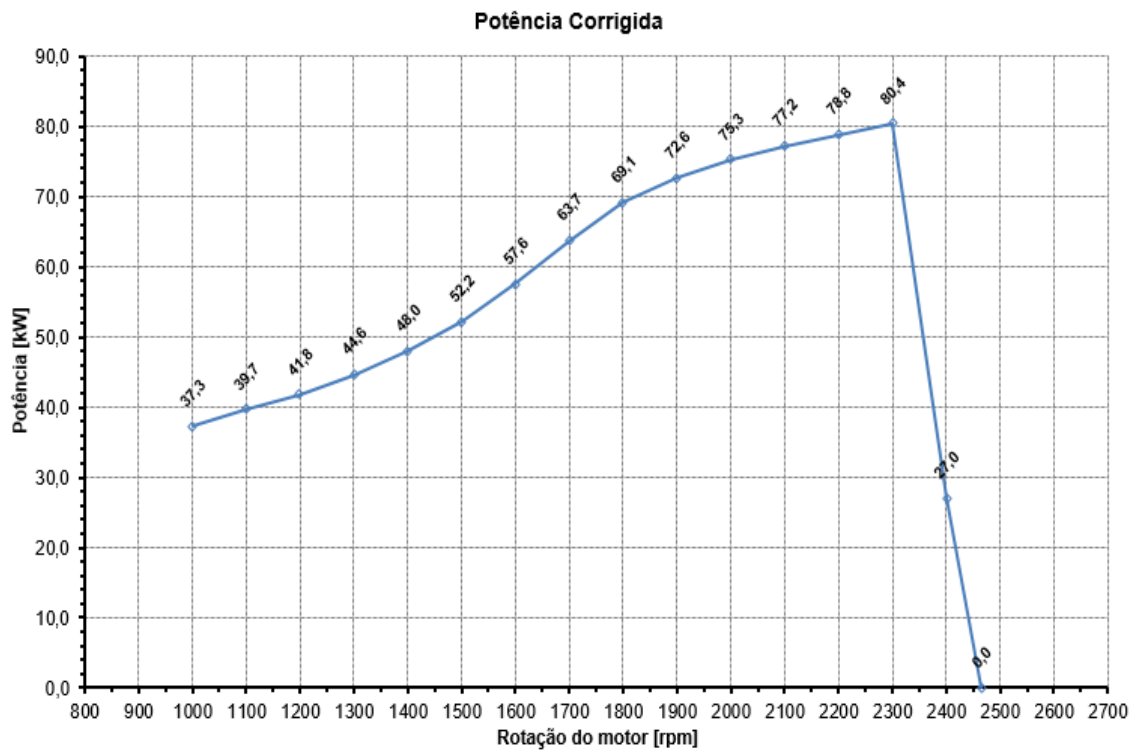


Figura 72 - Curva de Potência para o B-50 – Amostra R3

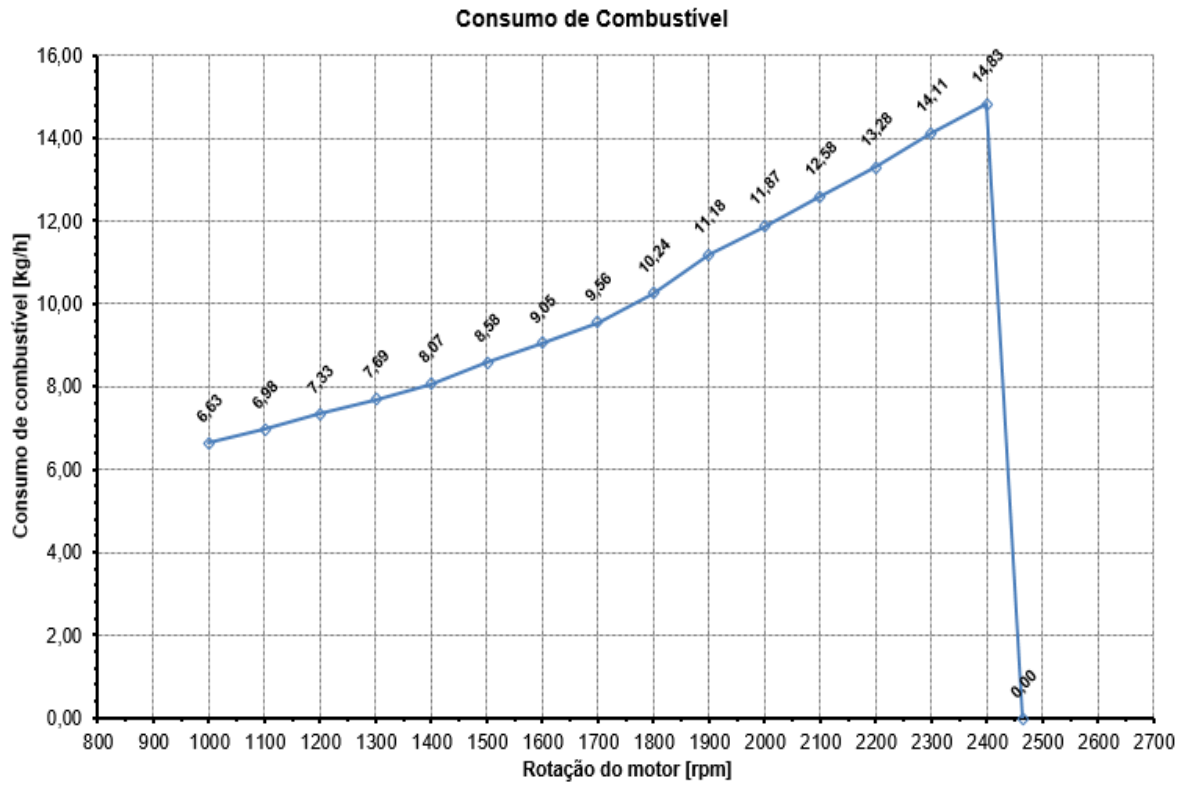


Figura 73 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R1

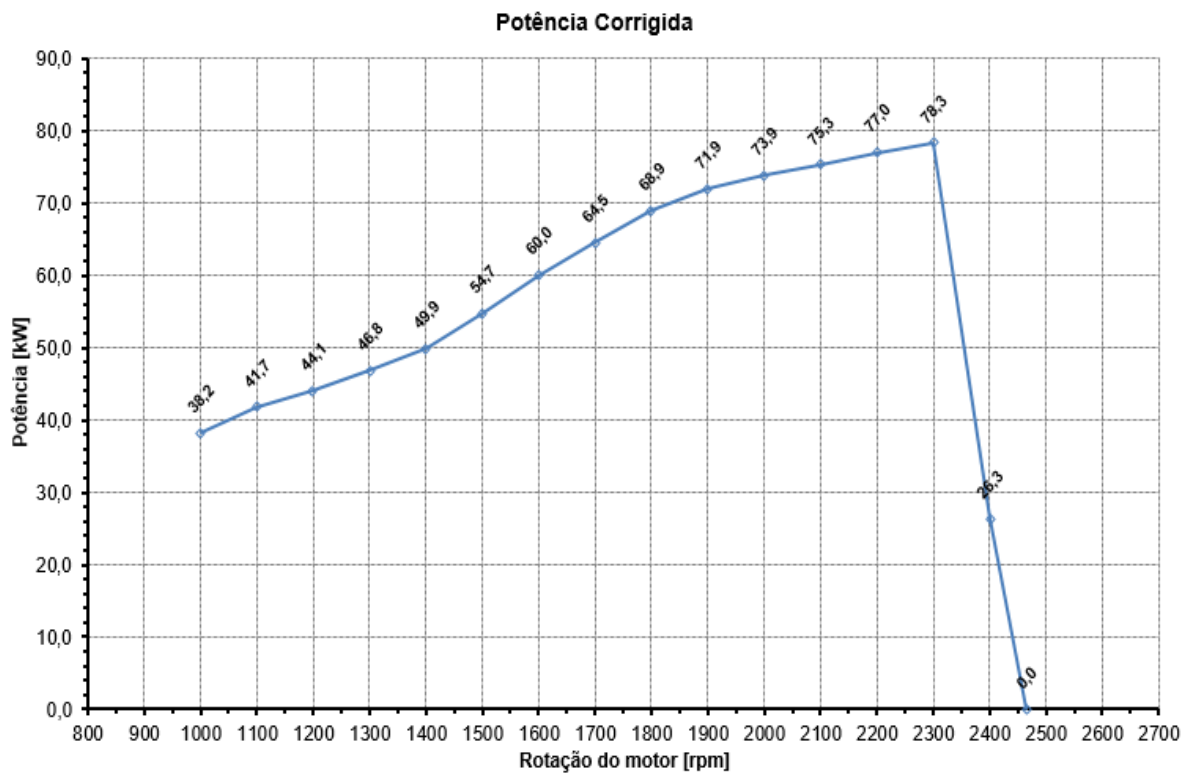


Figura 74 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R2

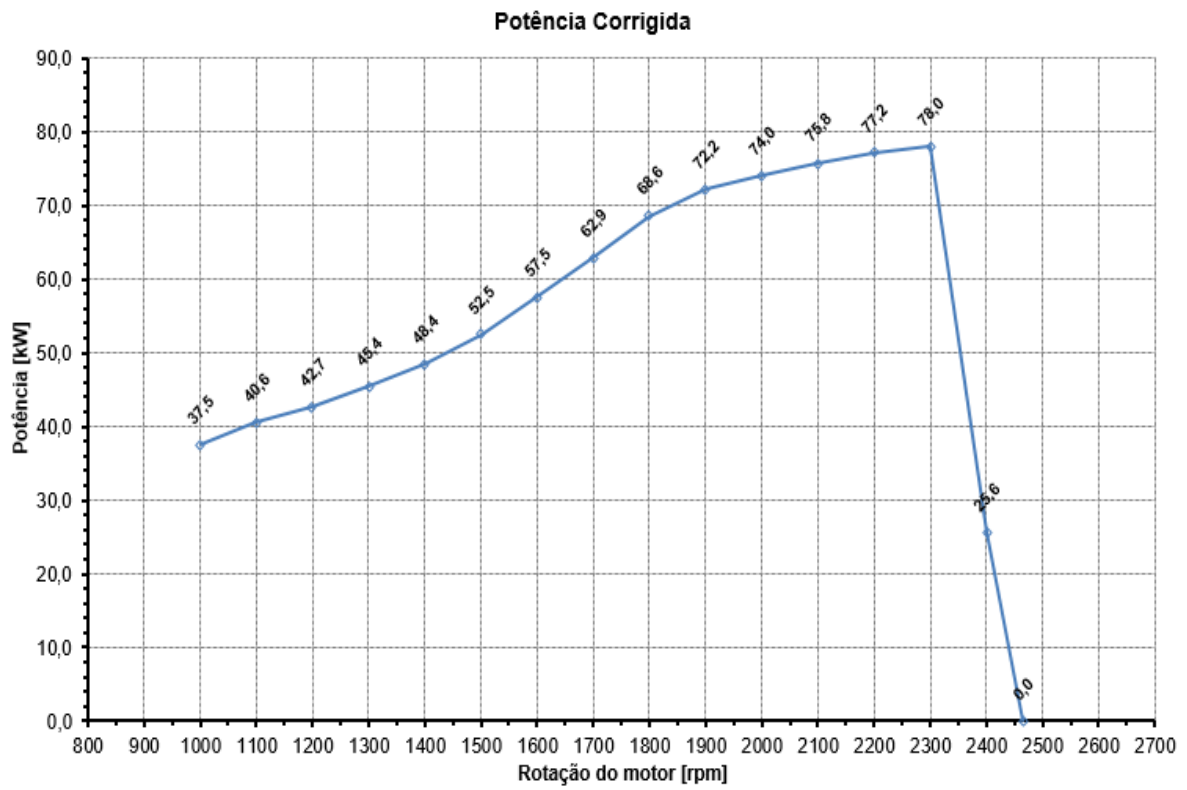


Figura 75 - Curva de Potência para o B-100 – Amostra R3

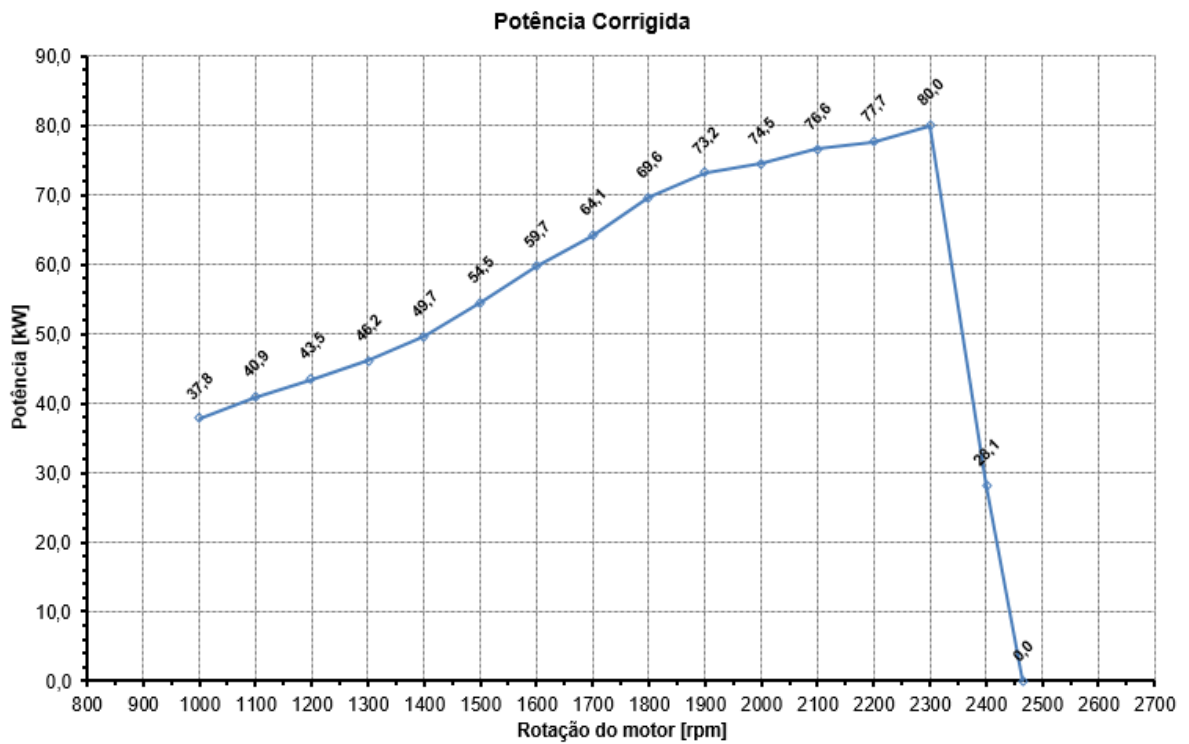


Figura 76 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R1

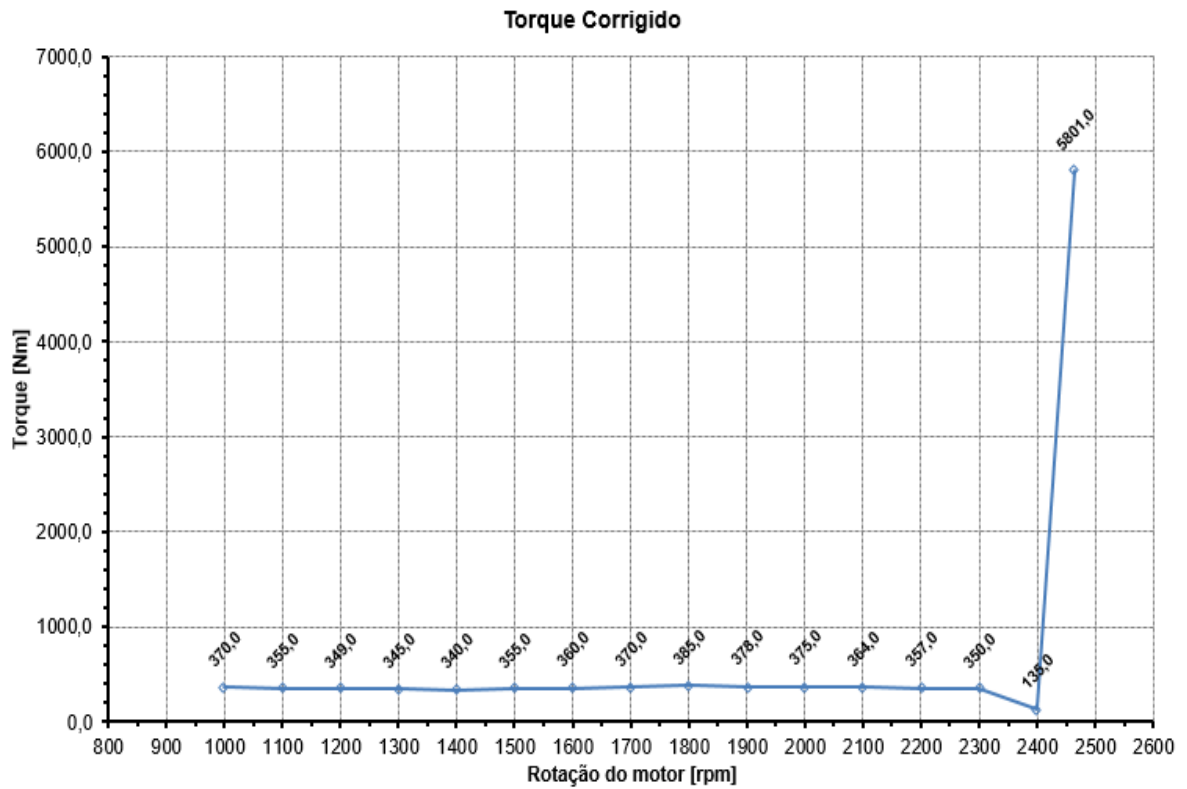


Figura 77 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R2

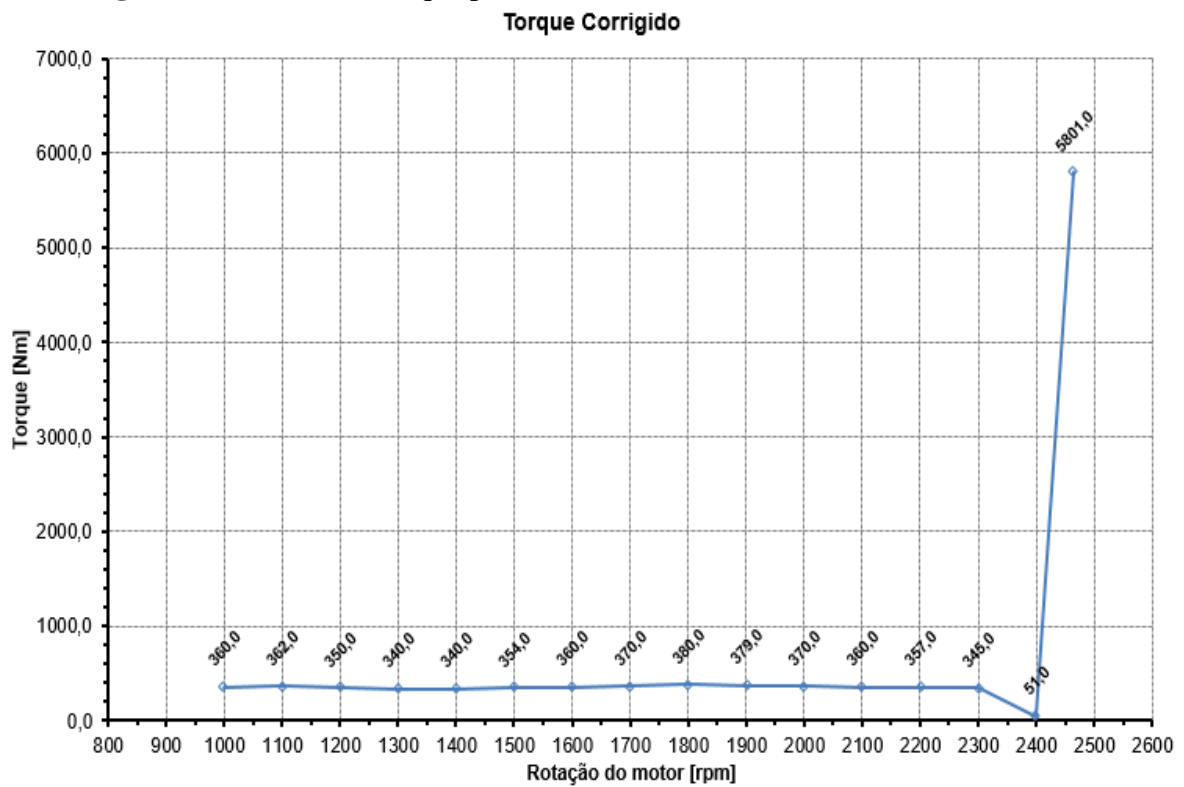


Figura 78 - Curva de Torque para o Diesel – Amostra R3

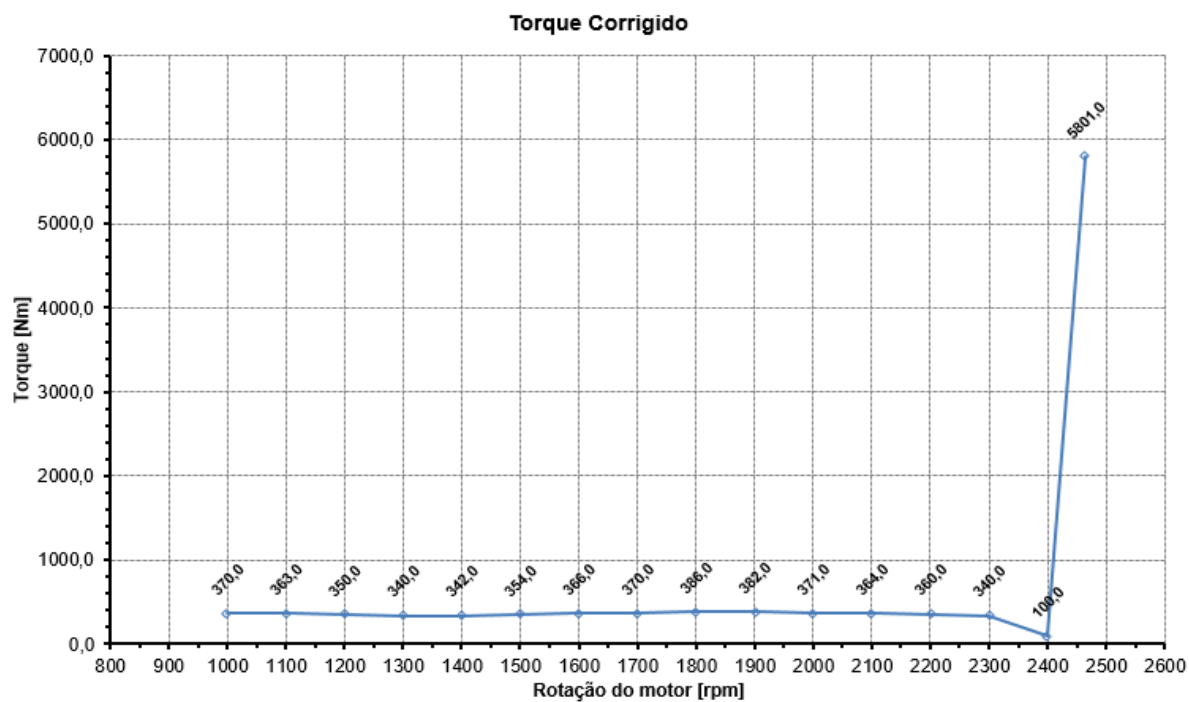


Figura 79 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R1

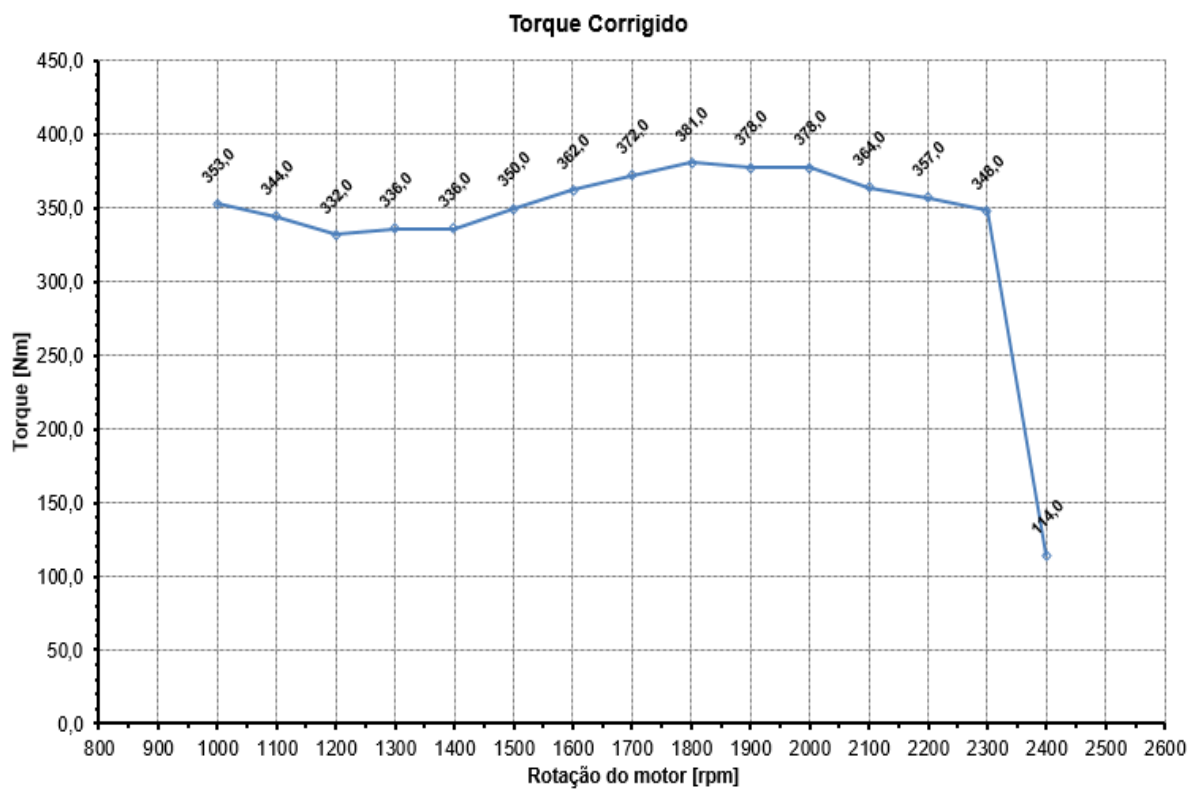


Figura 80 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R2

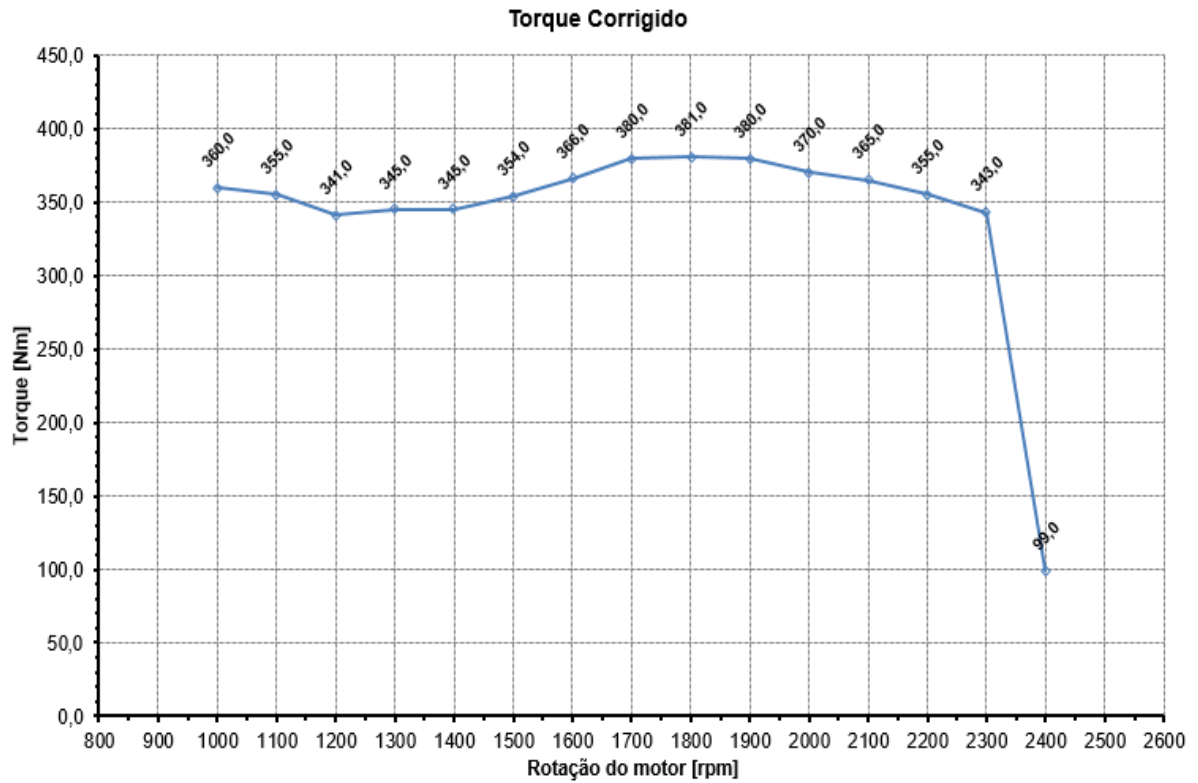


Figura 81 - Curva de Torque para o B-20 – Amostra R3

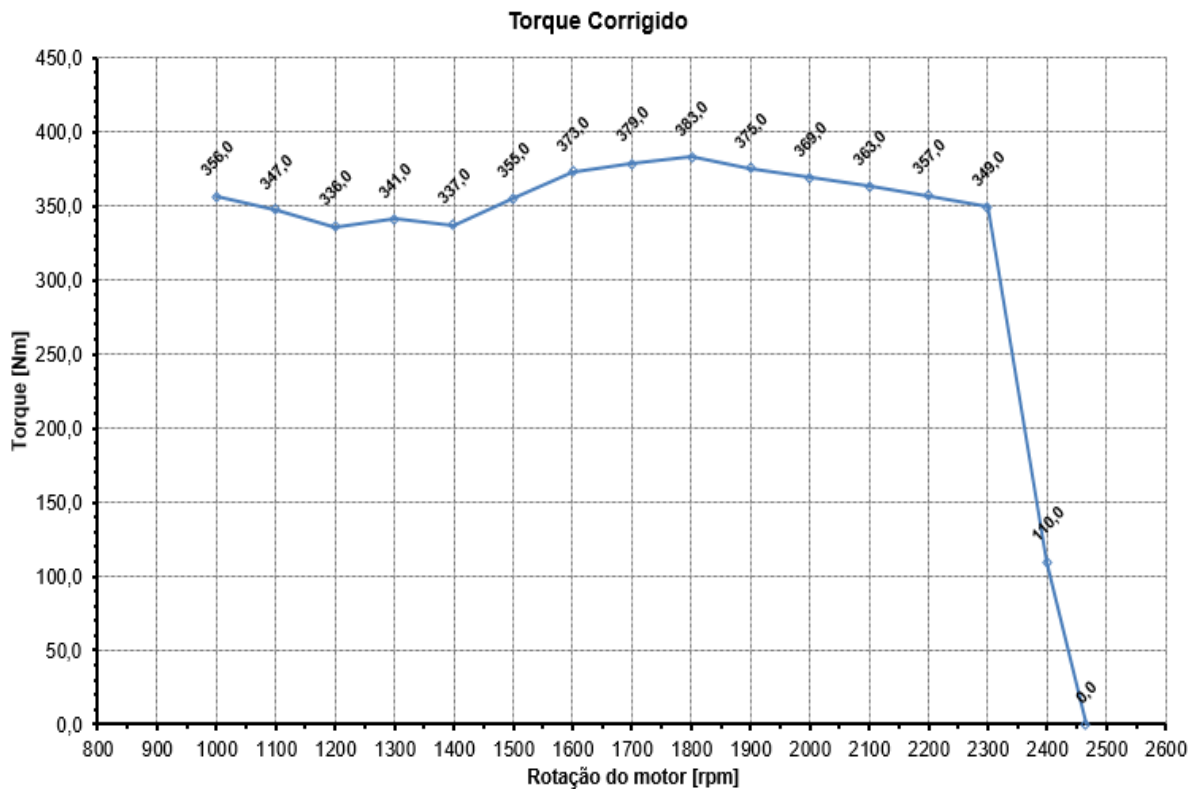


Figura 82 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R1

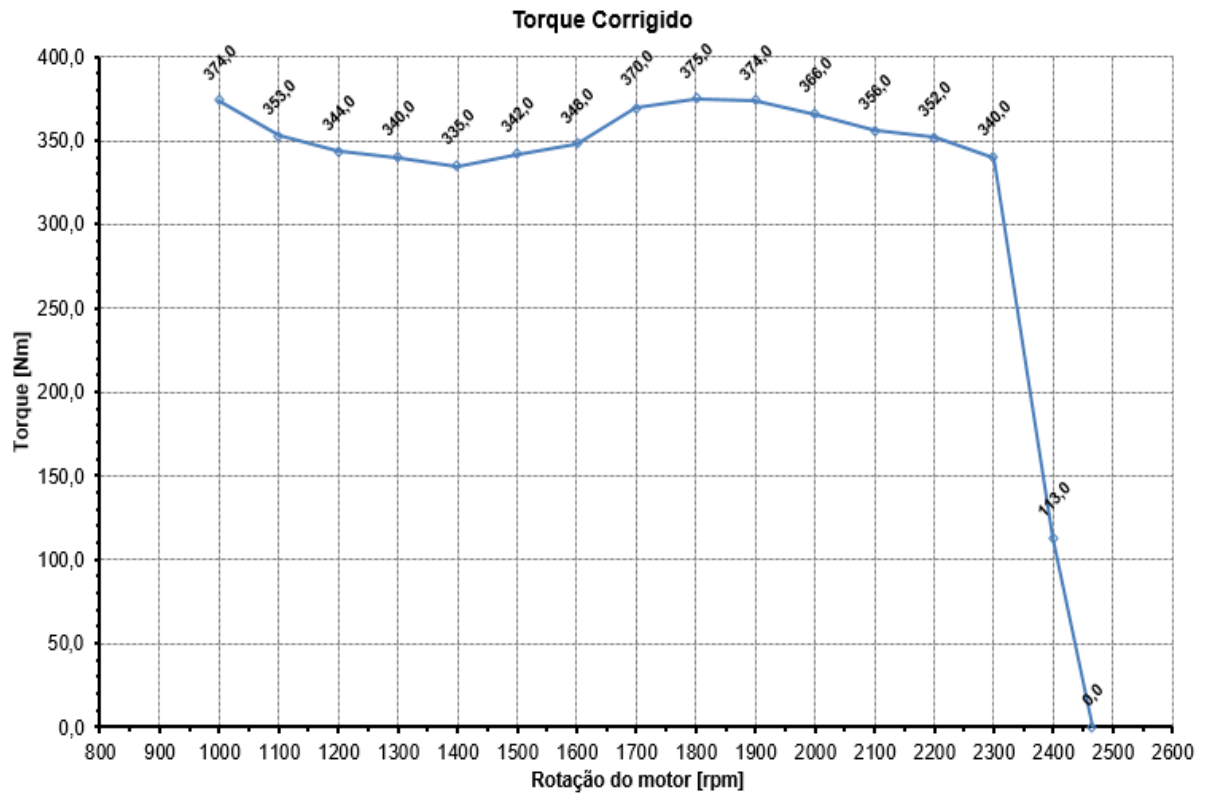


Figura 83 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R2

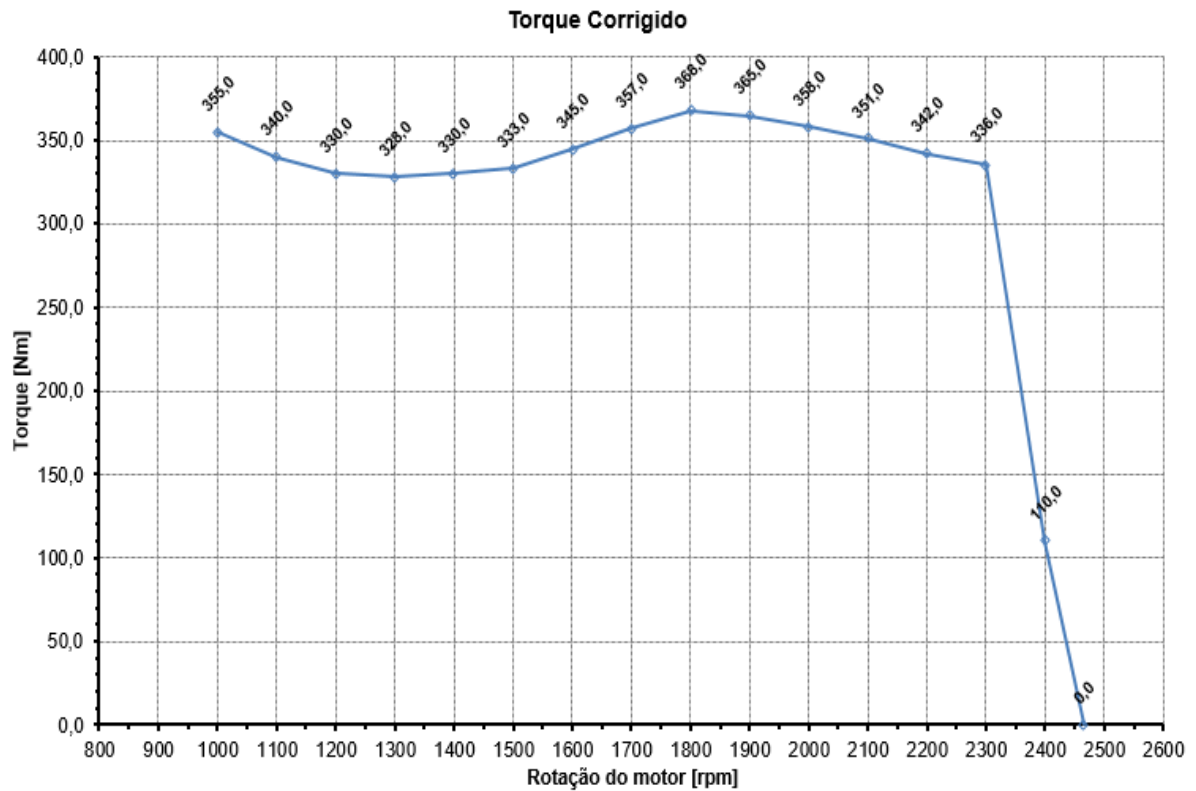


Figura 84 - Curva de Torque para o B-50 – Amostra R3

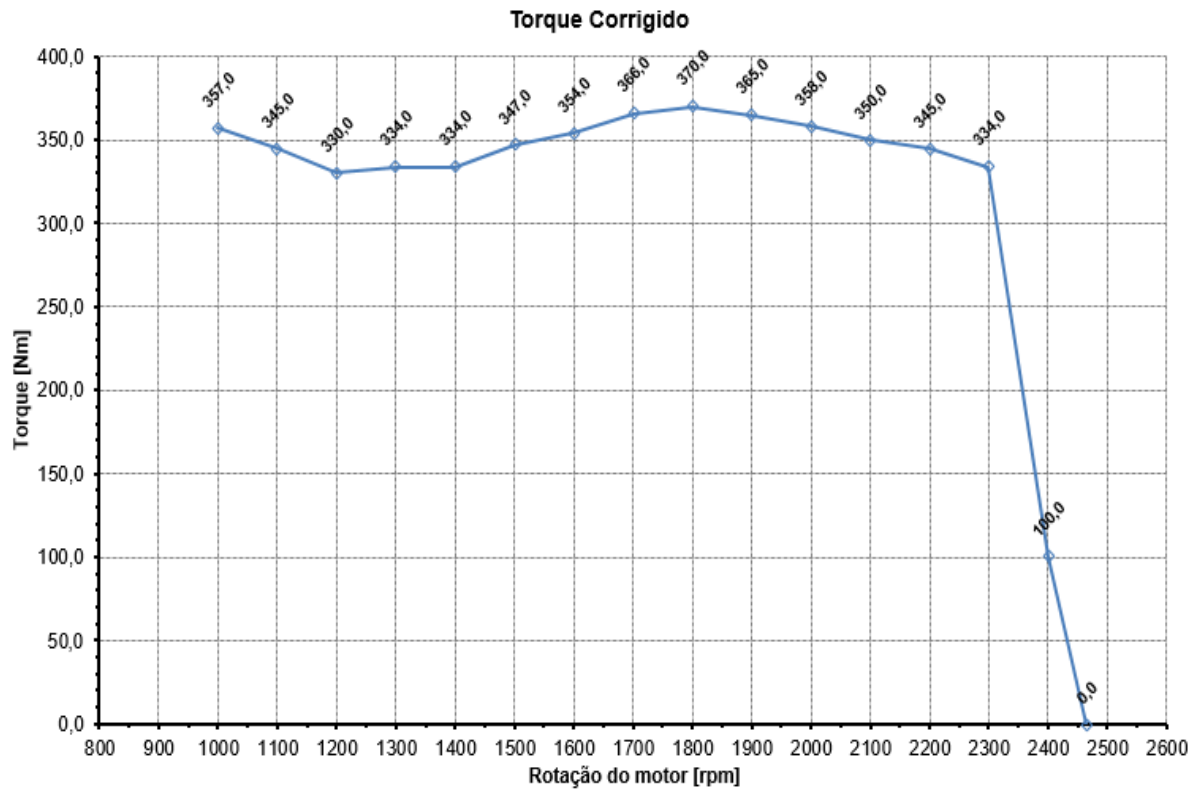


Figura 85 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R1

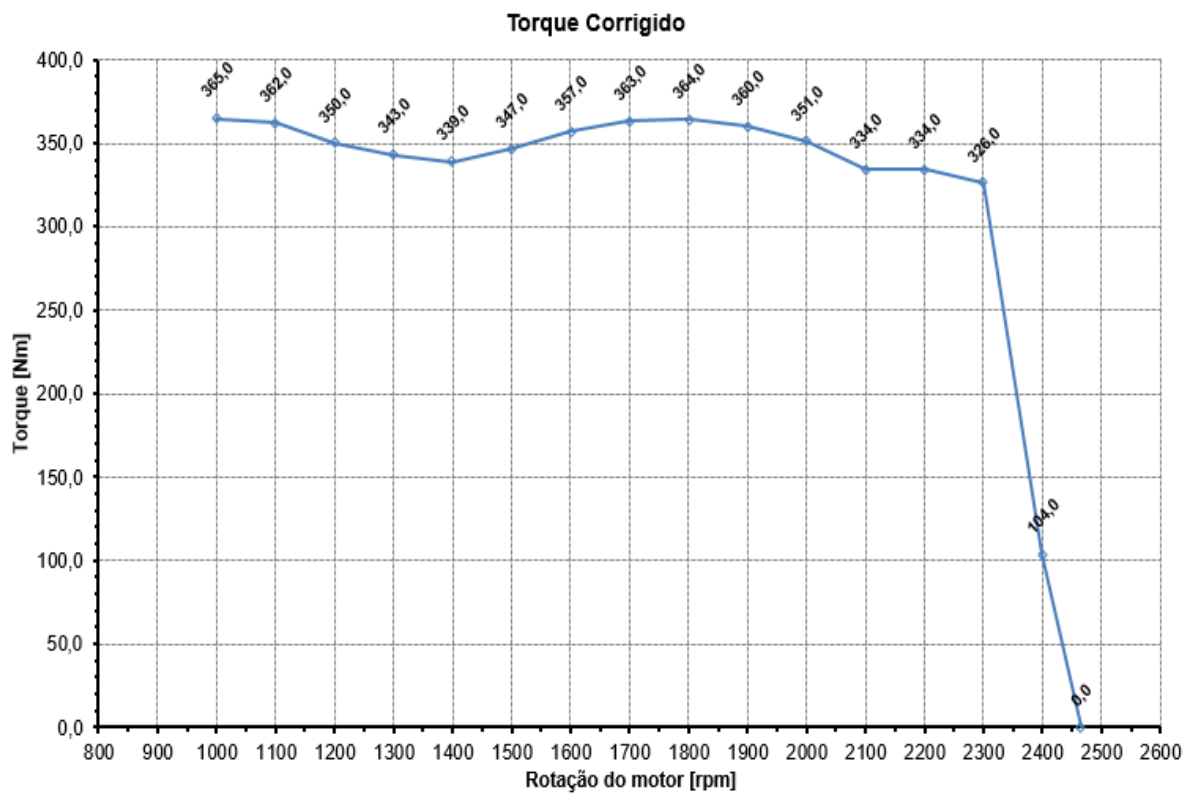


Figura 86 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R2

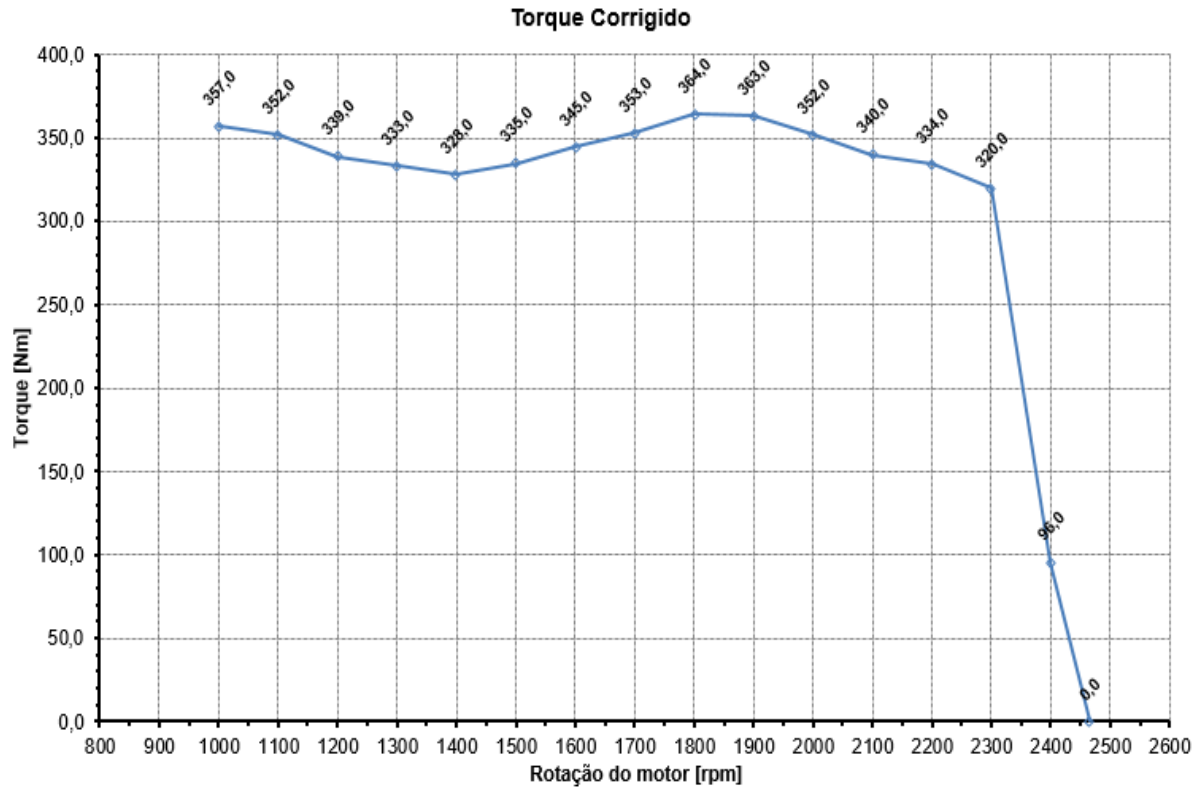


Figura 87 - Curva de Torque para o B-100 – Amostra R3

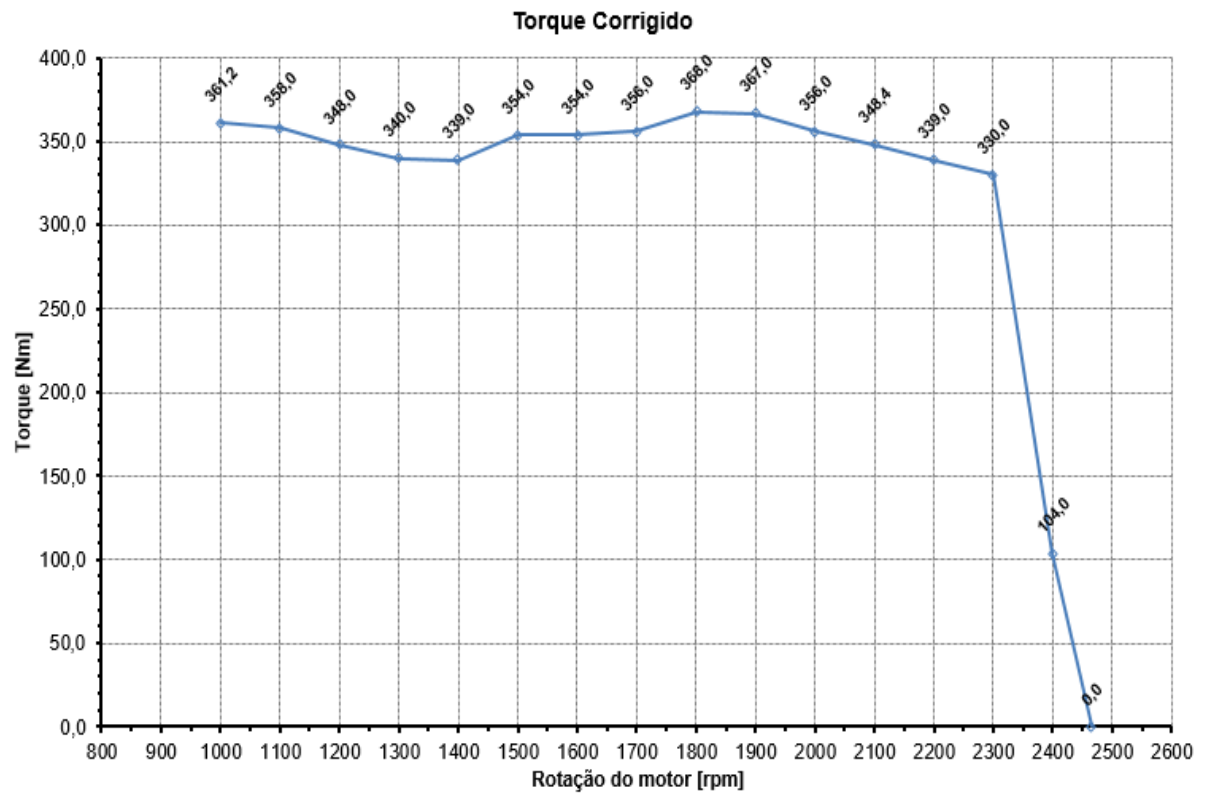


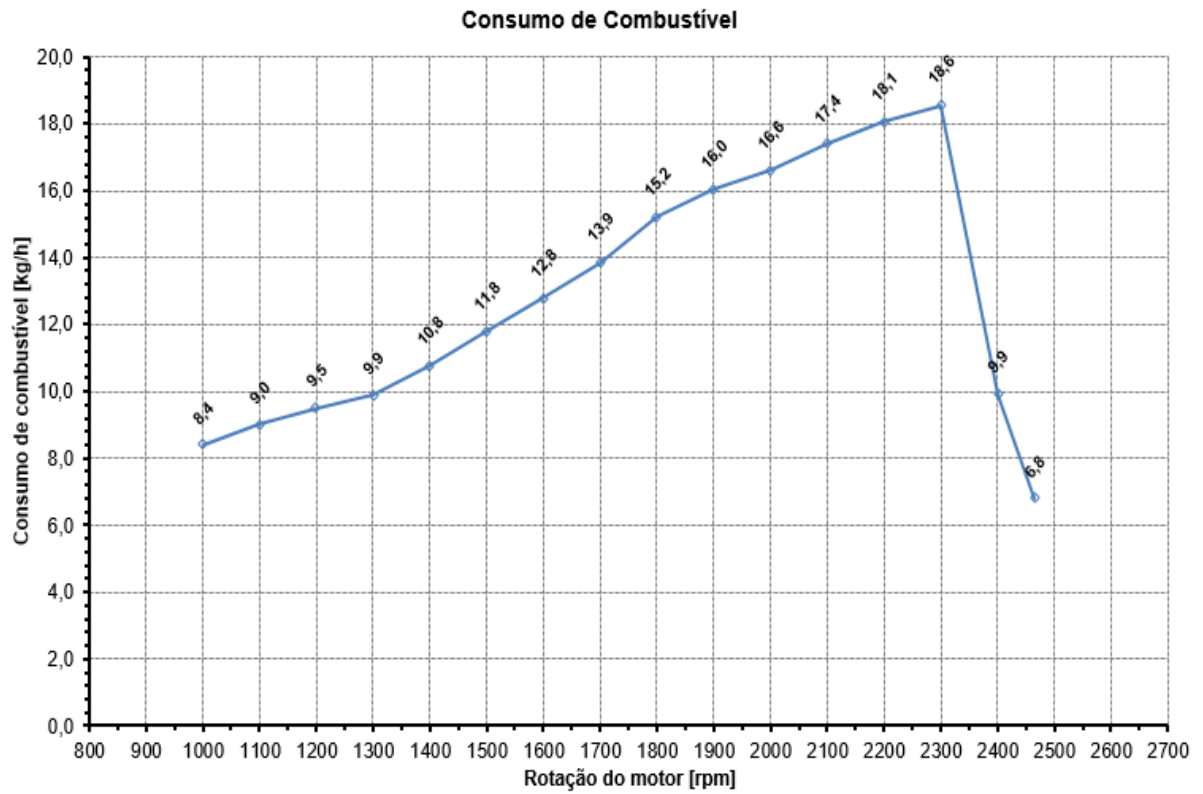
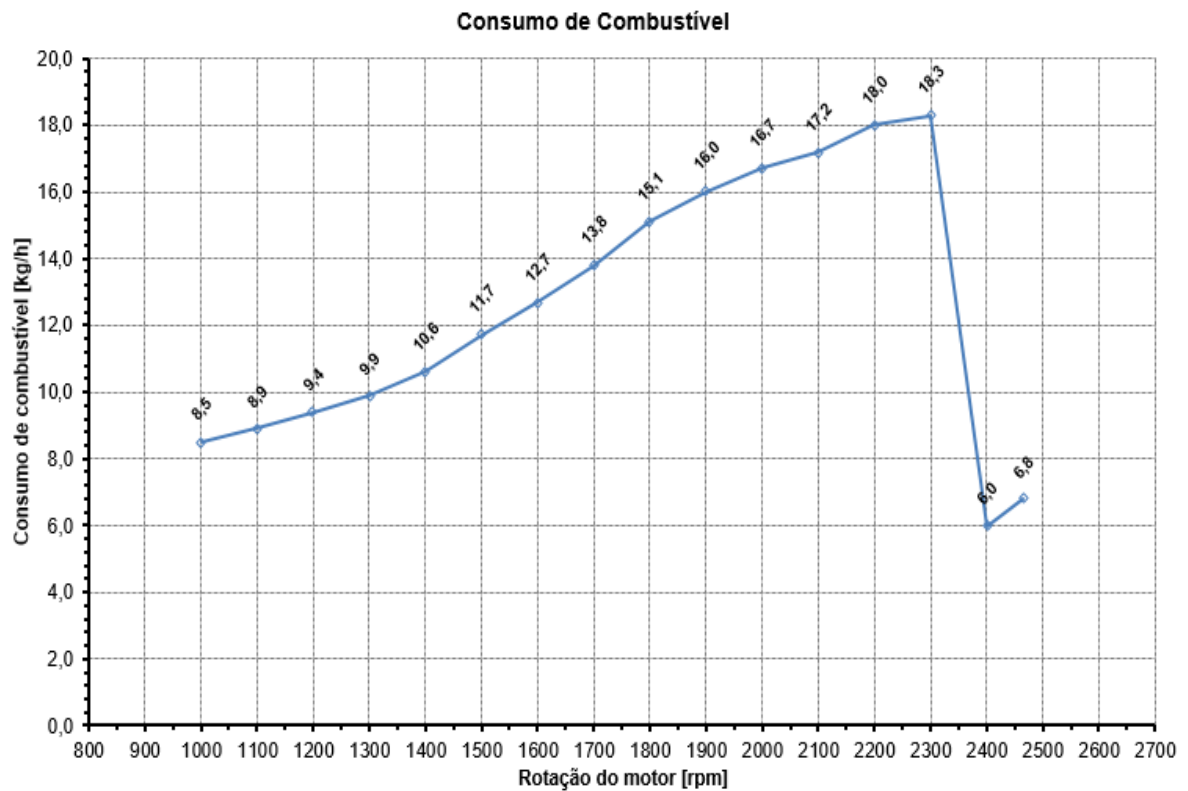
Figura 88 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R1**Figura 89 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R2**

Figura 90 - Curva de Consumo de Combustível para o Diesel – Amostra R3
Consumo de Combustível

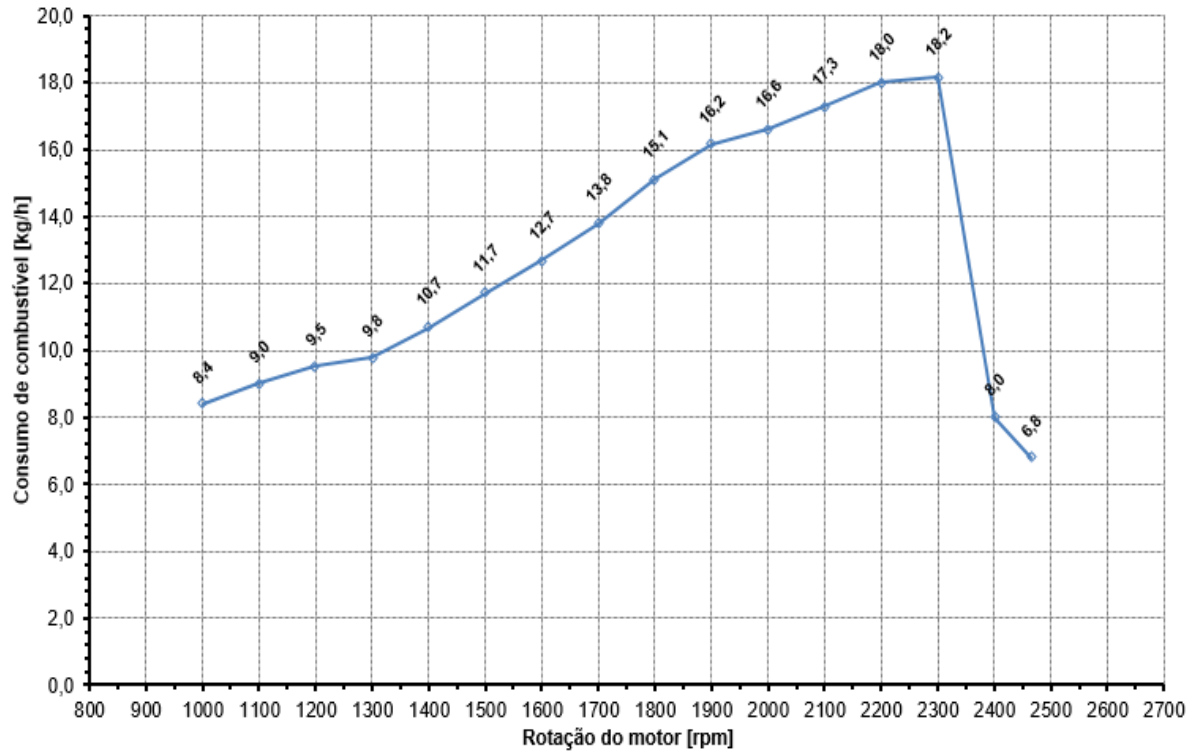


Figura 91 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R1

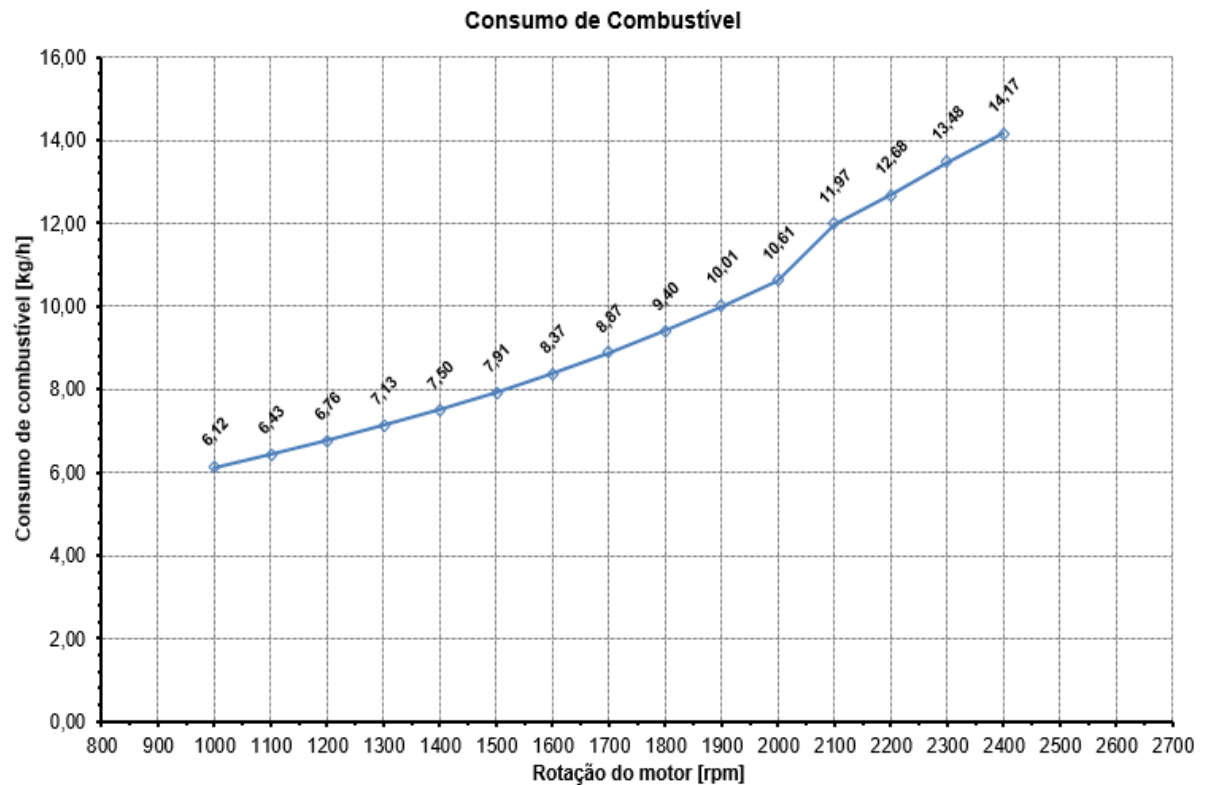


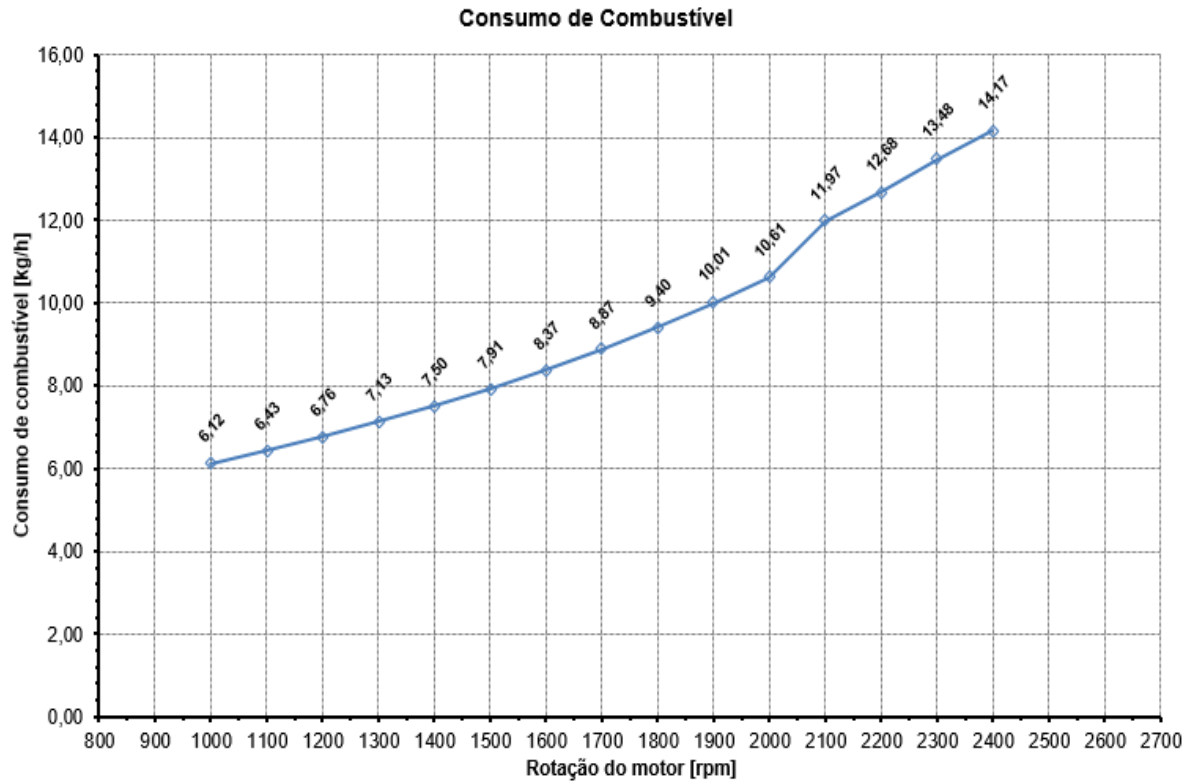
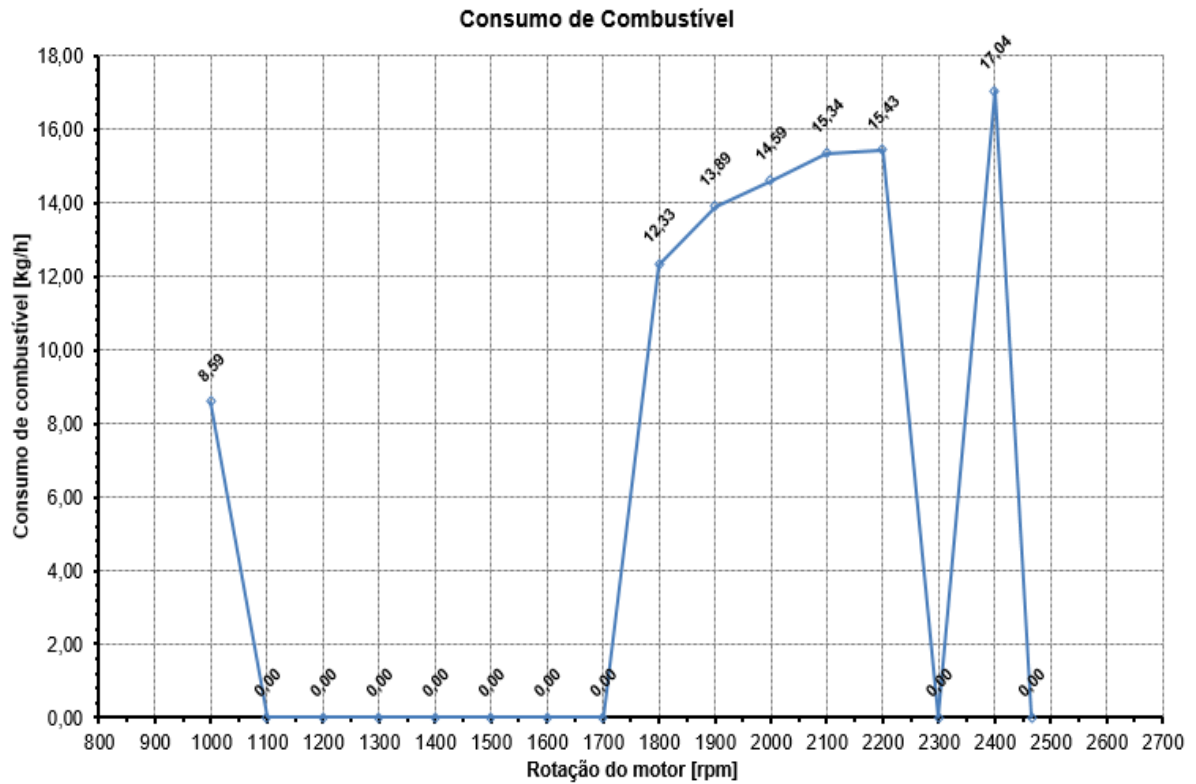
Figura 92 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R2**Figura 93 - Curva de Consumo de Combustível para o B-20 – Amostra R3**

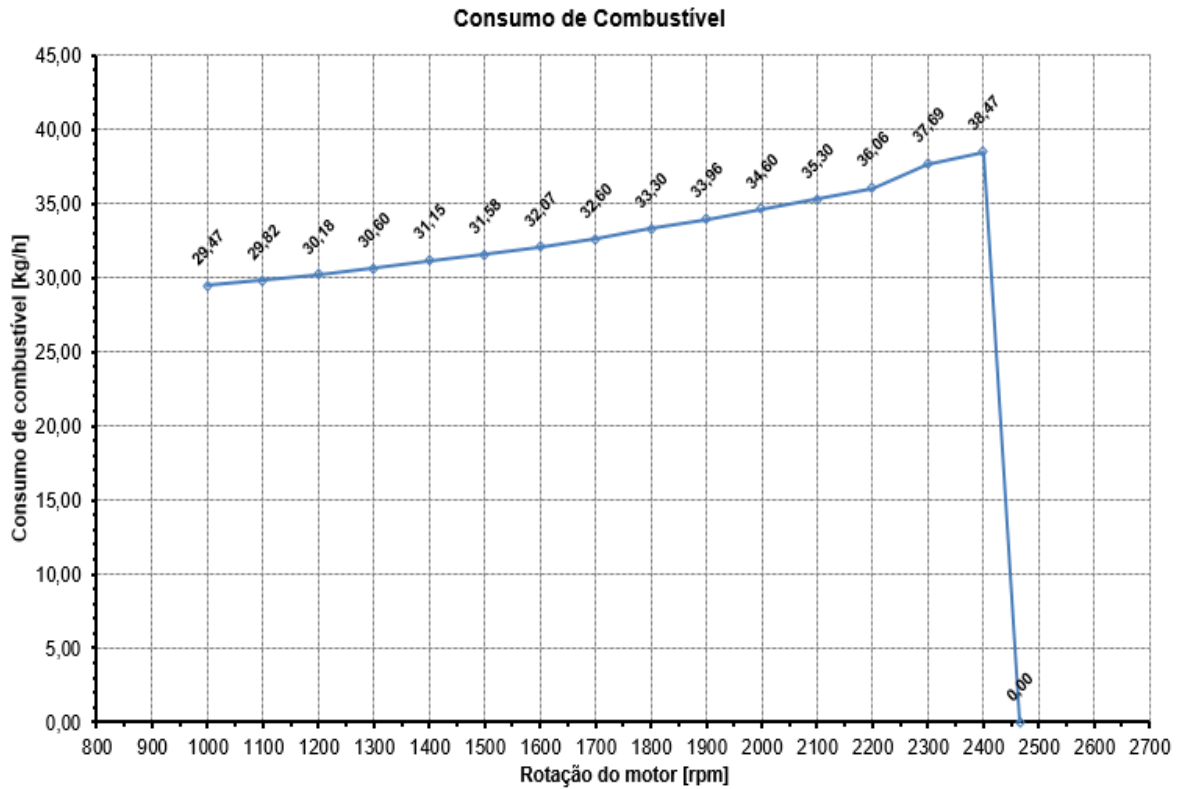
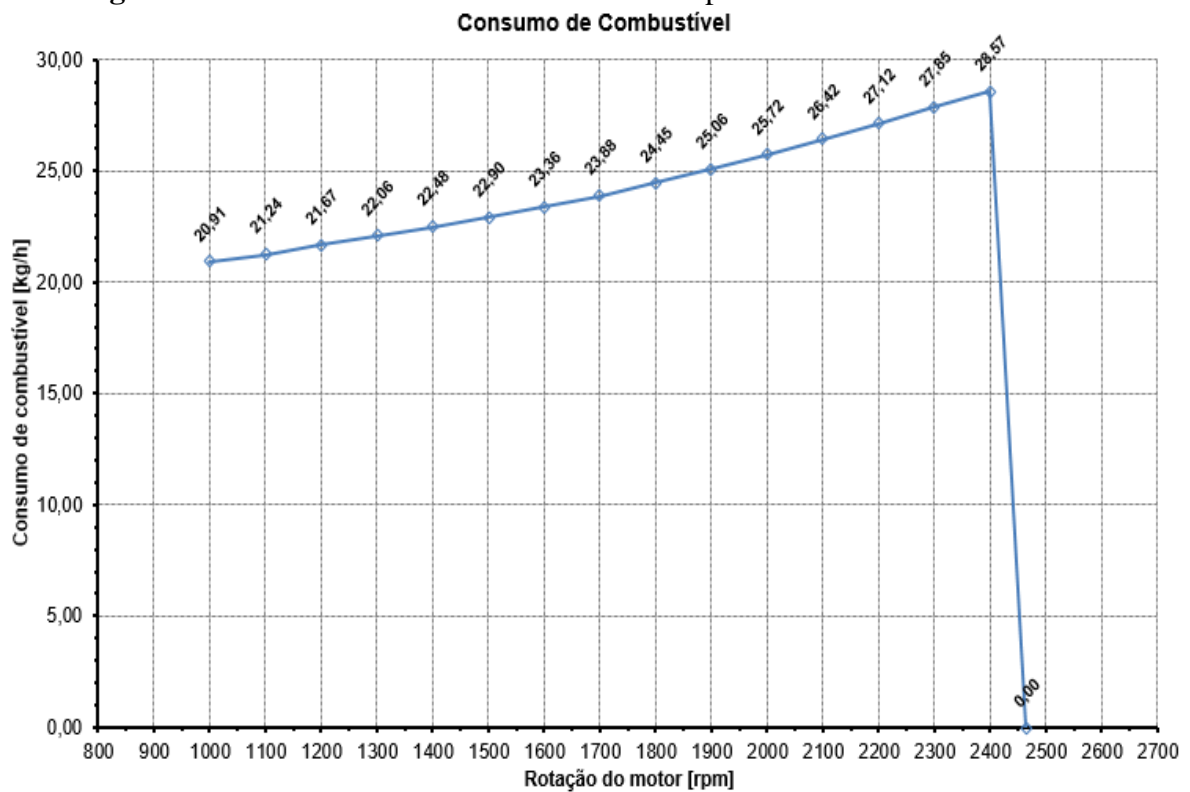
Figura 94 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R1**Figura 95 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R2**

Figura 96 - Curva de Consumo de Combustível para o B-50 – Amostra R3

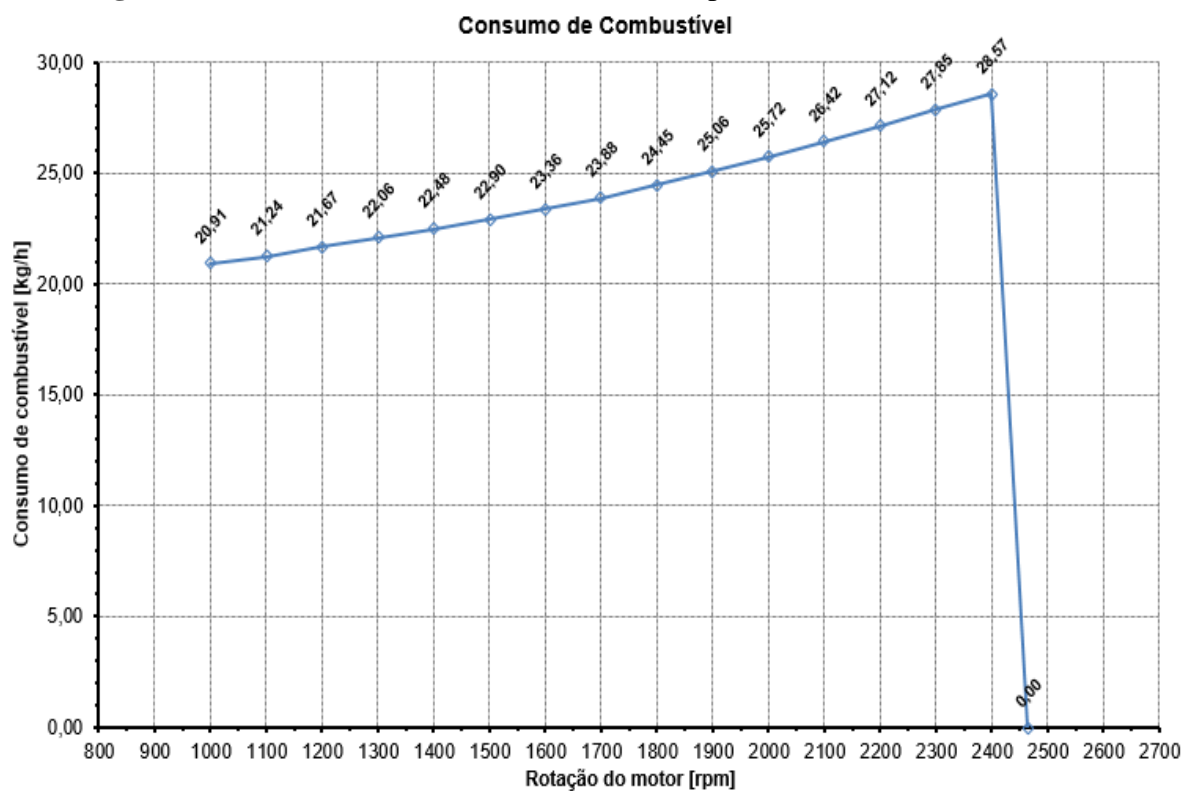


Figura 97 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R1

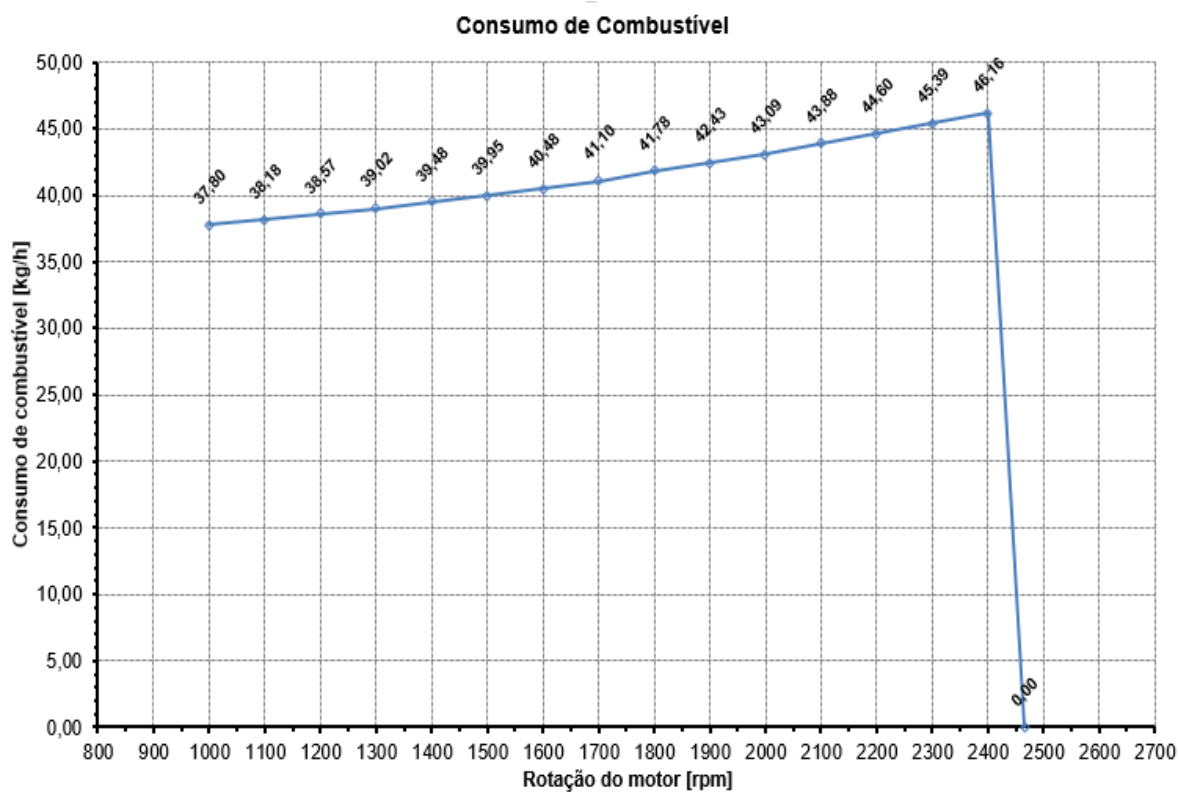


Figura 98 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R2

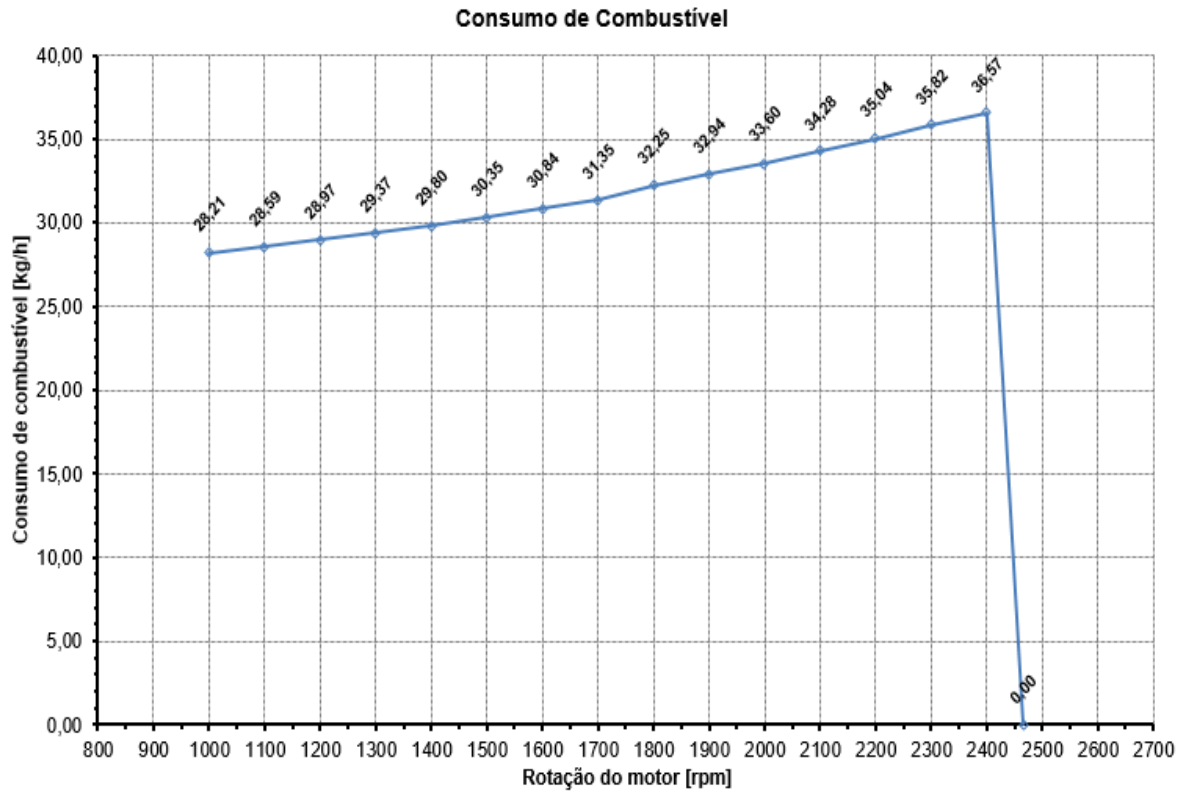


Figura 99 - Curva de Consumo de Combustível para o B-100 – Amostra R3

