

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS ZAIA FANTINATTI

DESENVOLVIMENTO DE MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS
A COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS (ETANOL E BIODIESEL) A PARTIR DE
MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS A COMBUSTÍVEIS
CONVENCIONAIS (GASOLINA E DIESEL).

CURITIBA

2023

LUCAS ZAIA FANTINATTI

DESENVOLVIMENTO DE MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS
A COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS (ETANOL E BIODIESEL) A PARTIR DE
MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS A COMBUSTÍVEIS
CONVENCIONAIS (GASOLINA E DIESEL).

Dissertação apresentado ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura, área de Concentração: Simulação e Integração de Processos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestrado Profissional em Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. PhD. Christian Scapulatempo Strobel.

Coorientador: Prof. Dr. Stephan Hennings Och

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Fantinatti, Lucas Zaia

Desenvolvimento de motores monocilíndricos 4 tempos movidos a combustíveis renováveis (Etanol e Biodiesel) a partir de motores monocilíndricos 4 tempos movidos a combustíveis convencionais (Gasolina e Diesel) / Lucas Zaia Fantinatti. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura.

Orientador: Christian Scapulatempo Strobel

Coorientador: Stephan Hennings Och

1. Etanol. 2. Biodiesel. 3. Diesel. 4. Gasolina. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura. III. Strobel, Christian Scapulatempo. IV. Och, Stephan Hennings. V. Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE MANUFATURA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **LUCAS ZAIA FANTINATTI** intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS A COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS (ETANOL E BIODIESEL) A PARTIR DE MOTORES MONOCILÍNDRICOS 4 TEMPOS MOVIDOS A COMBUSTÍVEIS CONVENCIONAIS (GASOLINA E DIESEL)**., sob orientação do Prof. Dr. CHRISTIAN SCAPULATEMPO STROBEL, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 18 de Outubro de 2023.

Assinatura Eletrônica

24/10/2023 14:22:14.0

CHRISTIAN SCAPULATEMPO STROBEL

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/10/2023 15:41:46.0

MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - UFPR)

Assinatura Eletrônica

24/10/2023 14:32:03.0

FLAVIO ISSAO KUBOTA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/10/2023 14:33:22.0

PABLO DEIVID VALLE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

24/10/2023 14:30:36.0

STEPHAN HENNINGS OCH

Coorientador(a) (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Utilizo este espaço para agradecer primeiramente à minha esposa, Nelma T. Bouard pelo incentivo, suporte, carinho, paciência durante essa etapa, e a de todos que me acompanham nesta jornada. Em especial ao meu orientador, Professor PhD. Christian Scapulatempo Strobel pelas orientações, correções e apoio durante a realização deste trabalho. Ao Professor Dr. Stephan Hennings Och, pela coorientação e suporte nos testes realizados neste documento.

A minha mãe, Vera Lucia Zaia, que sempre apoiou e incentivou minha formação.

À Universidade Federal do Paraná, e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura ao abrir suas portas e oportunizar a realização deste projeto.

Ao Eng. Lucas Victor Silva Teodoro, agradeço a parceria e a ajuda para a reativação do dinamômetro do Laboratório de Máquinas Hidráulicas da UFPR.

Agradeço a empresa Branco Motores Ltda. e aos colegas, Renan Franco, Lucas Montanarine, Nathan de Matos e o Eng. Rodrigo Gambeta, quais não mediram esforços para auxiliarem no decorrer deste período. Todos esses mencionados agradeço o suporte, o convívio e a amizade.

À memória de meu pai, Luiz Sergio Fantinatti, que despertou em mim a paixão pela mecânica.

RESUMO

Os motores a combustão interna são considerados poluentes devido às emissões geradas durante a queima de combustíveis fósseis. No entanto, as energias renováveis procuram fontes alternativas às convencionais, conhecidas como "energias limpas," com o intuito de reduzir emissões, sendo uma alternativa para a preservação do meio ambiente. O trabalho consiste na obtenção dos valores das curvas de potência, curvas de torque, aferições dos níveis de ruídos e aferições das emissões dos gases dos motores, com os diferentes combustíveis propostos (convencionais e renováveis). Além da pesquisa de mercado para analisar a viabilidade e a aceitação do uso desses combustíveis para esses tipos de ciclos de motores no mercado nacional. Por meio de pesquisa quantitativa foram analisados os valores obtidos nos testes realizados nos dois motores estacionários, monocilíndricos, 4 tempos, *OHV*, sendo um ignição por centelha - ciclo Otto (B4T-5.5cv) e o outro ignição por compressão - ciclo Diesel (BD-5.0cv). O motor de ignição por centelha, foi testado com gasolina comum (tipo C com 27,5% de etanol adicionado na composição), gasolina aditivada, gasolina podium® e etanol anidro 95% (o motor a gasolina passou por alterações para operar com etanol), para o motor de ignição por compressão, foi testado com Diesel comum S-500, Diesel S-10 e com biodiesel (extraído de óleo vegetal de soja), compondo as misturas B25, B50 e B75, sendo a B25 composta por 75% de diesel S-500 + 25% de biodiesel, a mistura B50 composta por 50% de diesel S-500 + 50% de biodiesel e a mistura B75 composta por 25% de diesel S-500 + 75% de biodiesel. Para os combustíveis renováveis, os resultados para o motor de ignição por centelha (ciclo Otto) mostraram acréscimo de: 0,48 hp na potência e 0,11 kgf.m no torque, aumento de 1,61 dBA no nível de ruído e decréscimo nos valores de emissões de CO em 83 ppm e NO em 56 ppm, para o uso do etanol em relação a gasolina comum. Os resultados para o motor de ignição por compressão (ciclo Diesel) mostraram acréscimo no nível de ruído de 1,72 dBA e decréscimo de 0,32 hp na potência, 0,09 kgf.m no torque e nos valores de emissões de CO em 139 ppm e de NO em 34 ppm, para o uso das misturas de biodiesel, no caso a B75 em relação ao Diesel comum. A análise mostrou que os motores a etanol e a biodiesel são uma alternativa viável aos combustíveis fósseis, sendo vistos como energia limpa, quando comparados aos motores convencionais (gasolina e diesel).

Palavras-chave: Etanol. Diesel. Biodiesel. Gasolina. Emissões de CO e NOx. Curva de torque. Curva de potência.

ABSTRACT

Internal combustion engines are considered polluting due to the emissions generated during the combustion of fossil fuels. However, renewable energies seek alternative sources to conventional ones, known as "clean energies," with the aim of reducing emissions, as an alternative for environmental preservation. The work involves obtaining power curves, torque curves, noise level measurements, and emissions measurements of engine gases using different proposed fuels (conventional and renewable). Market research was also conducted to analyze the feasibility and acceptance of using these fuels for these types of engine cycles in the national market. Through quantitative research, values obtained from tests conducted on two stationary engines, single-cylinder, 4-stroke, OHV, one spark-ignition - Otto cycle (B4T-5.5hp) and the other compression-ignition - Diesel cycle (BD-5.0hp), were analyzed. The spark-ignition engine was tested with regular gasoline (Type C with 27.5% ethanol added to the composition), premium gasoline, podium® gasoline, and anhydrous ethanol 95% (the gasoline engine underwent modifications to operate with ethanol). The compression-ignition engine was tested with regular Diesel S-500, Diesel S-10, and biodiesel (extracted from soybean vegetable oil), composing the B25, B50, and B75 blends, with B25 composed of 75% Diesel S-500 + 25% biodiesel, B50 composed of 50% Diesel S-500 + 50% biodiesel, and B75 composed of 25% Diesel S-500 + 75% biodiesel. For renewable fuels, the results for the spark-ignition engine (Otto cycle) showed an increase of 0.48 hp in power and 0.11 kgf.m in torque, an increase of 1.61 dBA in noise level, and a decrease in CO emissions by 83 ppm and NO emissions by 56 ppm when using ethanol compared to regular gasoline. The results for the compression-ignition engine (Diesel cycle) showed an increase in noise level of 1.72 dBA and a decrease of 0.32 hp in power, 0.09 kgf.m in torque, and a decrease in CO emissions by 139 ppm and NO emissions by 34 ppm when using biodiesel blends, specifically B75, compared to regular Diesel. The analysis showed that ethanol and biodiesel engines are a viable alternative to fossil fuels, being seen as clean energy when compared to conventional engines (gasoline and diesel).

Keywords: Ethanol. Diesel. Biodiesel. Gasoline. CO and NOx emissions. Torque curve. Power curve:

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ADMISSÃO CICLO OTTO.....	28
FIGURA 2 – COMPRESSÃO CICLO OTTO.....	28
FIGURA 3 – EXPANSÃO CICLO OTTO (COMBUSTÃO).....	29
FIGURA 4 – EXAUSTÃO CICLO OTTO.....	29
FIGURA 5 – ADMISSÃO CICLO DIESEL.....	30
FIGURA 6 – COMPRESSÃO CICLO DIESEL.....	31
FIGURA 7 – EXPANSÃO CICLO DIESEL (COMBUSTÃO).....	31
FIGURA 8 – EXAUSTÃO CICLO DIESEL.....	32
FIGURA 9 – GRÁFICOS BRANCO MOTORES.....	33
FIGURA 10 – NOMENCLATURA REFERENTE ÀS POSIÇÕES DO PISTÃO.....	38
FIGURA 11 – NOMENCLATURA REFERENTE ÀS POSIÇÕES DO PISTÃO[C].....	39
FIGURA 12 – LAYOUT DO DINAMÔMETRO.....	66
FIGURA 13 – DINAMÔMETRO BORGUI&SAVERI.....	67
FIGURA 14 – PAINEL DE CONTROLE DO DINAMÔMETRO BORGUI&SAVERI.....	68
FIGURA 15 – TELA DE MONITORAMENTO.....	69
FIGURA 16 – PAINEL DE SELEÇÃO DE PARÂMETROS.....	69
FIGURA 17 – TELA PARA ACOMPANHAMENTO EM TEMPO REAL.....	70
FIGURA 18 – MESA DE FIXAÇÃO DO MOTOR	71
FIGURA 19 – CASTANHA DE FIXAÇÃO DO EIXO.....	71
FIGURA 20 – SISTEMA DE ARREFECIMENTO.....	72
FIGURA 21 – SISTEMA DE MEDIÇÃO E ROTAÇÃO.....	73
FIGURA 22 – TACÔMETRO CICLO OTTO.....	73
FIGURA 23 – TACÔMETRO CICLO DIESEL.....	74
FIGURA 24 – MOTOR CICLO OTTO B4T-5.5 COM FILTRO DE AR E DESCARGA INSTALADOS.....	75
FIGURA 25 – MOTOR CICLO OTTO B4T-5.5 SEM FILTRO DE AR E DESCARGA INSTALADOS.....	75
FIGURA 26 – MOTOR CICLO DIESEL BD-5.0 COM FILTRO DE AR E DESCARGA INSTALADOS.....	76
FIGURA 27 – MOTOR CICLO DIESEL BD-5.0 SEM FILTRO DE AR E DESCARGA INSTALADOS.....	76

FIGURA 28 – FICHA TÉCNICA DO MOTOR B4T-5.5H – PARTIDA MANUAL - SEM SENSOR ALERTA DE ÓLEO.....	77
FIGURA 29 – CABEÇOTE B4T 5.5H.....	78
FIGURA 30 – JUNTA DO CABEÇOTE B4T 5.5H.....	79
FIGURA 31 – RESSALTO NEGATIVO DO PISTÃO B4T 5.5H.....	79
FIGURA 32 – CABEÇOTE B4T 5.5H (USINADO).....	81
FIGURA 33 – JUNTA DO CABEÇOTE B4T 5.5H.....	82
FIGURA 34 – RESSALTO DO PISTÃO B4T 5.5H.....	82
FIGURA 35 – FICHA TÉCNICA DO MOTOR BD-5.0H PARTIDA MANUAL - SEM SENSOR ALERTA DE ÓLEO.....	83
FIGURA 36 – CABEÇOTE BD 5.0H.....	84
FIGURA 37 – JUNTA DO CABEÇOTE BD 5.0H.....	85
FIGURA 38 – CÂMARA DE COMBUSTÃO DO PISTÃO BD 5.0H.....	85
FIGURA 39 – SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO.....	86
FIGURA 40 – MEDIDOR DE NÍVEL SONORO – RADIOSHACK 33-2055.....	91
FIGURA 41 – UNIDADE PADRÃO DE TESTE O DECIBELÍMETRO.....	92
FIGURA 42 – PONTOS DE MEDIÇÕES REALIZADAS.....	92
FIGURA 43 – PONTOS DE MEDIÇÕES REALIZADAS.....	93
FIGURA 44 – ANALISADOR DE GÁS DE COMBUSTÃO – MADUR GA-12.....	94
FIGURA 45 – TELA DE TESTES OTTO/DIESEL – MADUR GA-12.....	94

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ACEITAÇÃO PARA MOTORES A ETANOL.....	44
GRÁFICO 2 – ACEITAÇÃO PARA MOTORES A BIODIESEL.....	45
GRÁFICO 3 – ACEITAÇÃO PARA MOTORES A COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS...	45
GRÁFICO 4 – IMPLICAÇÃO COM EMISSÕES DE POLUENTES DOS MOTORES..	46
GRÁFICO 5 – INCENTIVO FISCAL DO GOVERNO.....	46
GRÁFICO 6 – RELEVÂNCIA DO PREÇO DO COMBUSTÍVEL.....	47
GRÁFICO 7 – CURVAS DO DINAMÔMETRO BORGUI & SAVERI.....	67
GRÁFICO 8 – POTÊNCIA/TORQUE B4T 5.5H.....	97
GRÁFICO 9 – POTÊNCIA B4T 5.5H – FORNECEDOR - GASOLINA PURA.....	98
GRÁFICO 10 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA COMUM (PETROBRÁS).....	99
GRÁFICO 11 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA ADITIVADA (PETROBRÁS)....	100
GRÁFICO 12 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA PODIUM (PETROBRÁS).....	101
GRÁFICO 13 – TORQUE B4T 5.5H – FORNECEDOR – GASOLINA PURA.....	102
GRÁFICO 14 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA COMUM (PETROBRÁS).....	103
GRÁFICO 15 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA ADITIVADA (PETROBRÁS).....	104
GRÁFICO 16 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA PODIUM (PETROBRÁS).....	105
GRÁFICO 17 – POTÊNCIA B4T 5.5H – ETANOL (PETROBRÁS).....	106
GRÁFICO 18 – TORQUE B4T 5.5H – ETANOL (PETROBRÁS).....	107
GRÁFICO 19 – POTÊNCIA MÁXIMA DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	108
GRÁFICO 20 – POTÊNCIA NOMINAL DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	109
GRÁFICO 21 – TORQUE MÁXIMO DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	110
GRÁFICO 22 – TORQUE NOMINAL DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	111
GRÁFICO 23 – POTÊNCIA/TORQUE BD 5.0.....	112
GRÁFICO 24 – POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL (CHINÊS).....	113
GRÁFICO 25 – POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL S-500.....	114
GRÁFICO 26 – POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL S-10.....	115
GRÁFICO 27 – POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 25%.....	116
GRÁFICO 28 – POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 50%.....	117
GRÁFICO 29 – POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 75%.....	118
GRÁFICO 30 – TORQUE BD-5.0 – FORNECEDOR – DIESEL (CHINÊS).....	119
GRÁFICO 31 – TORQUE BD-5.0 – DIESEL COMUM S-500 (PETROBRÁS).....	120
GRÁFICO 32 – TORQUE BD-5.0 – DIESEL S-10 (PETROBRÁS).....	121

GRÁFICO 33 – TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 25%.....	122
GRÁFICO 34 – TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 50%.....	123
GRÁFICO 35 – TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 75%.....	124
GRÁFICO 36 – POTÊNCIA MÁXIMA DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	125
GRÁFICO 37 – POTÊNCIA NOMINAL DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	126
GRÁFICO 38 – TORQUE MÁXIMO DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	127
GRÁFICO 39 – TORQUE NOMINAL DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	128
GRÁFICO 40 – POTÊNCIA B4T-5.5 – CICLO OTTO.....	139
GRÁFICO 41 – TORQUE B4T-5.5 – CICLO OTTO.....	140
GRÁFICO 42 – POTÊNCIA BD-5.0 – CICLO DIESEL.....	141
GRÁFICO 43 – TORQUE BD-5.0 – CICLO DIESEL.....	141
GRÁFICO 44 – RESULTADOS DO MOTOR CICLO OTTO.....	142
GRÁFICO 45 – RESULTADOS DO MOTOR CICLO DIESEL.....	143
GRÁFICO 46 – RESULTADOS DAS EMISSÕES MOTOR CICLO OTTO.....	144
GRÁFICO 47 – RESULTADOS DAS EMISSÕES MOTOR CICLO DIESEL.....	145

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – 1º PARÂMETROS DE PESQUISA NO MENDELEY.....	21
QUADRO 2 – 2º PARÂMETROS DE PESQUISA NO MENDELEY - ETANOL.....	22
QUADRO 3 – 3º PARÂMETROS DE PESQUISA NO MENDELEY - BIODIESEL.....	22
QUADRO 4 – 4º PARÂMETROS DE PESQUISA NO MENDELEY – ARGUMENTOS LÓGICOS.....	23
QUADRO 5 – 5º PARÂMETROS DE PESQUISA NO MENDELEY - ARGUMENTOS LÓGICOS E FILTROS.....	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARATIVO DE PREÇO DA GASOLINA COMUM POR REGIÕES NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2022.....	50
TABELA 2 – COMPARATIVO DE PREÇO DA GASOLINA ADITIVADA POR REGIÕES NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2022.....	50
TABELA 3 – COMPARATIVO DE PREÇO DO DIESEL COMUM S-500 POR REGIÕES NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2022.....	51
TABELA 4 – COMPARATIVO DE PREÇO DO DIESEL S-10 POR REGIÕES NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2022.....	51
TABELA 5 – COMPARATIVO DE PREÇO DO ETANOL POR REGIÕES NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2022.....	51
TABELA 6 – QUANTIDADE ANUAL DE MOTORES DE 5.0CV DIESEL TRAZIDOS 07/2021 A 06/2022.....	52
TABELA 7 – QUANTIDADE ANUAL DE MOTORES DE 5.5CV GASOLINA TRAZIDOS 07/2021 A 06/2022.....	53
TABELA 8 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA GASOLINA COMUM.....	55
TABELA 9 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA GASOLINA ADITIVADA.....	55
TABELA 10 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA GASOLINA PODIUM.....	56
TABELA 11 – ESPECIFICAÇÕES DA GASOLINA COMUM E PREMIUM.....	57
TABELA 12 – ESPECIFICAÇÕES DA GASOLINA CHINESA.....	58
TABELA 13 – ESPECIFICAÇÕES DO ETANOL.....	60
TABELA 14 – COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES BIODIESEL E DIESEL.....	63
TABELA 15 – VALORES DE REFERÊNCIA DO BARÔMETRO.....	65
TABELA 16 – VALORES DE REFERÊNCIA DO DINAMÔMETRO.....	68
TABELA 17 – INCERTEZA DE MEDIÇÃO – MADUR GA-12.....	95
TABELA 18 – POTÊNCIA B4T 5.5H – FORNECEDOR – GASOLINA PURA.....	98
TABELA 19 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA COMUM (PETROBRÁS).....	99
TABELA 20 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA ADITIVADA (PETROBRÁS).....	100
TABELA 21 – POTÊNCIA B4T 5.5H – GASOLINA PODIUM (PETROBRÁS).....	101
TABELA 22 – TORQUE B4T 5.5H – FORNECEDOR – GASOLINA PURA.....	102
TABELA 23 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA COMUM (PETROBRÁS).....	103
TABELA 24 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA ADITIVADA (PETROBRÁS).....	104
TABELA 25 – TORQUE B4T 5.5H – GASOLINA PODIUM (PETROBRÁS).....	105

TABELA 26	– POTÊNCIA B4T 5.5H – ETANOL (PETROBRÁS).....	106
TABELA 27	– TORQUE B4T 5.5H – ETANOL (PETROBRÁS).....	107
TABELA 28	– POTÊNCIA MÁXIMA DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	108
TABELA 29	– POTÊNCIA NOMINAL DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	109
TABELA 30	– TORQUE MÁXIMO DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	110
TABELA 31	– TORQUE NOMINAL DO B4T 5.5H – CICLO OTTO.....	111
TABELA 32	– POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL (CHINÊS).....	113
TABELA 33	– POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL S-500.....	114
TABELA 34	– POTÊNCIA BD 5.0 – DIESEL S-10.....	115
TABELA 35	– POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 25%.....	116
TABELA 36	– POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 50%.....	117
TABELA 37	– POTÊNCIA BD 5.0 – BIODIESEL 75%.....	118
TABELA 38	– TORQUE BD-5.0 – FORNECEDOR – DIESEL (CHINÊS).....	119
TABELA 39	– TORQUE BD-5.0 – DIESEL COMUM S-500 (PETROBRÁS).....	120
TABELA 40	– TORQUE BD-5.0 – DIESEL S-10 (PETROBRÁS).....	121
TABELA 41	– TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 25%.....	122
TABELA 42	– TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 50%.....	123
TABELA 43	– TORQUE BD-5.0 – BIODIESEL 75%.....	124
TABELA 44	– POTÊNCIA MÁXIMA DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	125
TABELA 45	– POTÊNCIA NOMINAL DO BD 5.0 – CICLO DIESEL.....	126
TABELA 46	– TORQUE MÁXIMO DO B4T 5.0 – CICLO DIESEL.....	127
TABELA 47	– TORQUE NOMINAL DO B4T 5.0 – CICLO DIESEL.....	128
TABELA 48	– TESTE COM GASOLINA COMUM.....	129
TABELA 49	– TESTE COM GASOLINA ADITIVADA.....	130
TABELA 50	– TESTE COM GASOLINA PODIUM.....	131
TABELA 51	– TESTE COM ETANOL.....	132
TABELA 52	– TESTE COM DIESEL S-500.....	133
TABELA 53	– TESTE COM DIESEL S-10.....	134
TABELA 54	– TESTE COM BIODIESEL 25%.....	135
TABELA 55	– TESTE COM BIODIESEL 50%.....	136
TABELA 56	– TESTE COM BIODIESEL 75%.....	137
TABELA 57	– RESULTADOS DO MOTOR IGNIÇÃO POR CENTELHA.....	138
TABELA 57	– RESULTADOS DO MOTOR IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO.....	138

LISTA DE SIGLAS OU ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

B4T-5.5 - Motor Branco 4 Tempos – gasolina 5.5cv

BCU - Unidade de Controle do Freio

BD-5.0 - Motor Branco Diesel – diesel 5.0cv

Biogás - Metano ou butano

BNDS - Banco Nacional de Desenvolvimento

BTE - Baixo teor de enxofre

BXX - proporções de biocombustíveis em uma mistura

Ciclo Diesel - Ciclo a diesel ou biodiesel (compressão)

Ciclo Otto - Ciclo a gasolina ou etanol (centelha)

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EAR - Etanol anidro combustível de referencia

EFI - Injeção eletrônica de combustível

EHR - Etanol hidratado combustível de referencia

FINAME - Programa de Financiamento de máquina e equipamentos

GB - Normas Nacionais da República Popular da China

GN - Gás natural

GNV - Gás natural veicular

ISSO - Organização Internacional para Padronização

LMH - Laboratório de Máquinas Hidráulicas

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NBR - Norma técnica Brasileira

NCM - Nomenclatura Comum do Mercosul

OHV (Over Head Valve) - Comando de Válvula no cabeçote

PREFE - Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias

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

RBS - Revisão Bibliográfica Sistemática

SAE - Society of Automotive Engineers

Scopus® - Base de dados Scopus

SISCORI - Portal Único Siscomex

SV (Side Valve) - Comando de Válvulas na lateral do bloco

UBTE - Ultra baixo teor de enxofre

UFPR - Universidade Federal do Paraná

WoS - Base de dados Web of Science®

LISTA DE SÍMBOLOS

- 2_a - Comprimento da superfície de medição;
- 2_b - Largura da superfície de medição;
- c - Altura da superfície de medição;
- C - Cilindrada [cm^3 ou cc]
- D - Diâmetro dos cilindros do motor
- d - Distância do objeto até a superfície de medição;
- K_1 ou K_2 - Fatores de correção
- l_1 - Comprimento da caixa de referência;
- l_2 - Largura da caixa de referência;
- l_3 - Altura da caixa de referência.
- L_p - Nível médio de pressão sonora de uma oitava ou de um terço de oitava
- L_{pA} - Nível médio de pressão sonora ponderado na escala A
- L_{pAi} - Nível de pressão sonora
- L_{pi} - Nível de pressão sonora de uma oitava
- \dot{m}_a - Vazão mássica de ar;
- \dot{m}_c - Vazão mássica de combustível
- n - Número total de posições de medição.
- N - Rotação do virabrequim [rotação/minuto]
- PMI - Ponto Morto Inferior
- PMS - Ponto Morto Superior
- ppm - Partícula por milhão
- S ou L - Curso do pistão
- S-10 - Diesel com 10ppm de enxofre
- S-500 - Diesel com 500ppm de enxofre
- T_c - Taxa de compressão
- V_1 - Volume total
- V_2 ou V_m ou v - Volume da câmara de combustão
- V_c - Volume da câmara de combustão [cm^3]
- V_{cc} - Volume total de um cilindro [cm^3]
- V_d - Volume deslocado do motor
- V_{du} - Cilindrada unitária

\dot{W} - Trabalho potência efetiva [hp];

\dot{W}_a - Potência de atrito

\dot{W}_i - Potência indicada

Z - Número de cilindros do motor

\odot - Posição-chave do microfone

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVO GERAL	19
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 METODOLOGIA.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 RBS – (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA.....	21
2.1.1 RBS – (EVALUATION OF PERFORMANCE CURVES, EMISSIONS AND NOISE FROM 4-STROKE SINGLE-CYLINDER, SPARK-IGNITED AND COMPRESSION ENGINES ALTERED TO CONSUME ETHANOL AND BIODIESEL RESPECTIVELY)).....	21
2.1.2 RBS – (SINGLE CYLINDER STATIONARY ETHANOL POWERED ENGINE*) OR (SINGLE CYLINDER STATIONARY BIODIESEL POWERED ENGINE*)	22
2.1.3 RBS – RESULTADOS OBTIDOS - MOTOR CICLO OTTO	24
2.1.4 RBS – RESULTADOS OBTIDOS - MOTOR CICLO DIESEL	25
2.2 MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA E SUAS CLASSIFICAÇÕES.....	25
2.3 TIPOS DE CICLOS DE TRABALHO USADOS NOS MOTORES TESTADOS ...	27
2.3.1. CICLO OTTO	27
2.3.2. CICLO DIESEL.....	30
2.4 SISTEMA DE IGNIÇÃO CICLO OTTO	32
2.5 PONTO DE IGNIÇÃO CICLO OTTO	32
2.6 CURVAS DE POTÊNCIA, TORQUE E CONSUMO ESPECÍFICO.....	33
2.7 MOTOR MONOCILÍNDRICO – ESTACIONÁRIO – 4 TEMPOS – OHV – REFRIGERADO A AR – A GASOLINA.....	34
2.7.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS MOTOR A GASOLINA	34
2.8 MOTOR MONOCILÍNDRICO – ESTACIONÁRIO – 4 TEMPOS – OHV – REFRIGERADO A AR – A DIESEL	36
2.8.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS MOTOR A DIESEL	36
2.9 CÁLCULO DA CAPACIDADE CÚBICA E TAXA DE COMPRESSÃO	38
2.10 CÁLCULO DA POTÊNCIA E DO TORQUE	42
2.11 CÁLCULO DA RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL	43
2.12 CONSIDERAÇÕES CAPÍTULO 2	43
3 ANÁLISE DE MERCADO	44

3.1 PESQUISA DE MERCADO	44
3.2 OPORTUNIDADES	48
3.3 PÚBLICO ALVO	49
3.4 INCENTIVO FINANCEIRO	49
3.5 PREÇO DO COMBUSTÍVEL	49
3.6 TAMANHO DO MERCADO	52
3.7 CONSIDERAÇÕES CAPÍTULO 3.....	53
4 COMBUSTÍVEIS	54
4.1 GASOLINA	54
4.1.1 GASOLINA COMUM.....	55
4.1.2 GASOLINA ADITIVADA.....	55
4.1.3 GASOLINA PODIUM®.....	56
4.1.4 GASOLINA (CHINESA).	57
4.1.5 ETANOL	59
4.2 DIESEL.....	60
4.2.1 DIESEL S-10.....	61
4.2.2 DIESEL S-500.....	61
4.2.3 DIESEL (CHINÊS).....	62
4.2.4 BIODIESEL	62
4.2.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 4	64
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
5.1 LAYOUT CRIADO PARA O TESTE DOS MOTORES	65
5.2 DINAMÔMETRO	67
5.2.1 PAINEL DE CONTROLE BCU (<i>BRAKE-CONTROL-UNIT</i>)	68
5.2.2 MESA DE FIXAÇÃO DO MOTOR	70
5.2.3 ACOPLAMENTO DO EIXO DO MOTOR.....	71
5.2.4 SISTEMA DE ARREFECIMENTO DO DINAMÔMETRO	72
5.2.5 MEDIDOR DE ROTAÇÃO	72
5.3 NORMA SAE J1995 E SAE J1940 - PARÂMETROS DE OTESTES.....	74
5.4 MOTOR A GASOLINA ETANOL – B4T-5,5H	77
5.4.1 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A GASOLINA	78
5.5 ALTERAÇÕES REALIZADAS NO MOTOR A GASOLINA PARA A CONVERSÃO PARA ETANOL.	80

5.5.1 APERFEIÇOAMENTO DO SISTEMA DE PARTIDA A FRIO PARA O MOTOR A ETANOL.....	80
5.5.2 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A ETANOL.....	81
5.6 MOTOR A DIESEL BIODIESEL - BD-5.0.....	83
5.6.1 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A DIESEL.....	84
5.7 NÍVEL DE RUÍDO.....	86
5.7.1 INCERTEZAS DAS MEDIÇÕES.....	87
5.7.2 CÁLCULO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO.....	87
5.7.3 ÁREA DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO, S, DIMENSÕES DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO L_s E NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA L_w	89
5.7.4 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EMISSÃO DA PRESSÃO SONORA.....	90
5.7.5 MÉTODO DE REALIZAÇÃO DO TESTE.....	90
5.7.6 TESTE DE NÍVEL DE RUIDO DO MOTOR 4 TEMPOS CICLO OTTO.....	92
5.7.7 TESTE DE NÍVEL DE RUÍDO DO MOTOR 4 TEMPOS CICLO DIESEL.....	93
5.8 NÍVEL DE EMISSÕES DE CO E NO _x	94
5.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 5.....	96
6 RESULTADOS.....	97
6.1.1 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DO MOTOR A GASOLINA.....	97
6.1.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA PURA (CHINESA).....	98
6.1.3 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA COMUM.....	99
6.1.4 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA ADITIVADA.....	100
6.1.5 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA PODIUM®.....	101
6.1.6 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA PURA (CHINESA).....	102
6.1.7 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA COMUM.....	103
6.1.8 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA ADITIVADA.....	104
6.1.9 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA PODIUM®.....	105
6.1.10 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA ETANOL.....	106
6.1.11 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE ETANOL.....	107
6.1.12 CURVAS DE POTÊNCIA MÁXIMA CICLO OTTO.....	108
6.1.13 CURVAS DE POTÊNCIA NOMINAL CICLO OTTO.....	109
6.1.14 CURVAS DE TORQUE MÁXIMO CICLO OTTO.....	110
6.1.15 CURVAS DE TORQUE NOMINAL CICLO OTTO.....	111
6.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DO MOTOR A DIESEL.....	112

6.2.1 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL COMUM (CHINÊS)	113
6.2.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL S-500	114
6.2.3 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL S-10	115
6.2.4 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BIODIESEL 25%	116
6.2.5 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BIODIESEL 50%	117
6.2.6 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BIODIESEL 75%	118
6.2.7 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL (CHINÊS).....	119
6.2.8 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL S-500	120
6.2.9 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL S-10	121
6.2.10 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 25%.....	122
6.2.11 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 50%.....	123
6.2.12 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 75%.....	124
6.2.13 CURVAS DE POTÊNCIA MÁXIMA CICLO DIESEL	125
6.2.14 CURVAS DE POTÊNCIA NOMINAL CICLO DIESEL	126
6.2.15 CURVAS DE TORQUE MÁXIMO CICLO DIESEL	127
6.2.16 CURVAS DE TORQUE NOMINAL CICLO DIESEL	128
6.3 NÍVEL DE RUÍDO	129
6.3.1 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA COMUM	129
6.3.2 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA ADITIVADA	130
6.3.3 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA PODIUM®	131
6.3.4 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA ETANOL	132
6.3.5 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA DIESEL S-500	133
6.3.6 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA DIESEL S-10	134
6.3.7 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 25%.....	135
6.3.8 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 50%.....	136
6.3.9 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 75%.....	137
6.4 NÍVEL DE EMISSÕES	138
6.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 6	139
6.5.1 MOTOR CICLO OTTO	139
6.5.2 MOTOR CICLO DIESEL	140
6.5.3 NÍVEL DE RUÍDO	142
6.5.4 EMISSÕES.....	143
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	147
7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	149

REFERÊNCIAS.....	150
------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

Os motores de pequeno porte (monocilíndricos, 4 tempos, refrigerados a ar, estacionários) são alternativas comuns no mercado brasileiro, já utilizados desde os anos 1950. Isso devido a área do território brasileiro e a instabilidade e/ou falta de energia (redes elétricas) próximas ao consumidor final. Nos grandes centros urbanos é difícil ocorrer esse problema de falta de energia, porém no campo é muito comum. O Brasil possui sua matriz energética principal oriunda de usinas hidrelétricas, o que leva a falta de energia elétrica em locais longínquos e para suprir a falta de energia são utilizados motores movidos a combustíveis fósseis, sendo os principais a gasolina e o óleo Diesel.

Com o passar dos anos e a evolução da tecnologia, esses motores sofreram evoluções e melhorias como evolução dos projetos e dos materiais. Esse avanço permitiu algumas melhorias, como por exemplo: a substituição do material de fundição do bloco, anteriormente era feito em ferro fundido, atualmente é de liga de alumínio, geralmente oriunda de material reciclável e muito mais leve; outro exemplo da evolução foi a substituição da configuração do motor, anteriormente o motor era com comando de válvulas na lateral do bloco (*Side Valve*), atualmente o comando de válvulas é no cabeçote (*Over Head Valve*); o sistema de ignição mudou de platinado para a bobina; outra questão foi a extinção dos motores ciclo 2 Tempos para motores com potência acima de 3,0 cv. Esses motores ainda são fabricados, mas em configurações menores (abaixo de 3,0 cv de potência) para uso em equipamentos portáteis, como motosserras, roçadeiras, pulverizadores, entre outros. Isso ocorreu devido as emissões desses motores, que utilizam óleo 2 Tempos misturado à gasolina e/ou diesel.

Os motores a combustão interna são considerados poluidores, devido aos valores de emissões oriundos da queima de combustíveis fósseis. As energias renováveis buscam alternativas de fontes de energia de baixa carga poluente, tais fontes são popularmente conhecidas por energias “limpas”, tem como objetivo reduzir as emissões de poluentes, redução no custo da produção dos motores, preço sustentável, descarte consciente (visando a reciclagem) e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, surgiu a ideia de testar os motores convencionais com dois combustíveis não usuais, o etanol e o biodiesel, para esse nicho de mercado (motores monocilíndricos 4 tempos estacionários). Esses dois combustíveis tem a imagem de

sustentáveis e menos poluentes, gerando uma opção com menor emissões de particulados para o meio ambiente.

Para essa pesquisa foram doados dois motores estacionários para a realização dos testes pela empresa Branco Motores Ltda., empresa a qual o autor da pesquisa trabalha. Apresentando um breve histórico da empresa, que tem mais de 87 anos de tradição no mercado de produtos de força e energia, no passado a Branco Motores Ltda., já tinha uma visão para os combustíveis renováveis, onde desenvolveu uma linha de produtos movidos a biogás, voltada aos pequenos agricultores e produtores rurais, garantindo renda a famílias que tiram seu sustento da terra. Essa linha de produtos era denominado de Bio Soluções, composta por um motor de 10 cv (B4T-10.0 Bio), duas moto bombas (B4T-709 Bio e B4T- 817CH Bio) e um gerador (B4T-5000 Bio), de 4 kW de potência. Todos acionados por combustível biogás, sendo dimensionados para trabalhar de forma eficiente com biogás de boa qualidade, os quais possuem uma concentração mínima de 60% de metano, focada na decomposição de dejetos suínos como fonte principal. Por questões comerciais, como o preço elevado e o mercado que não teve a aceitação para esse tipo de combustível na época, a linha foi descontinuada em 2012.

Como a empresa sempre apoiou a inovação, surgiu a ideia de voltar ao tema de combustíveis renováveis, utilizando os combustíveis etanol e o biodiesel. É uma nova forma de pensar e agir que adapta tecnologias existentes com responsabilidade e visão de futuro, a favor do desenvolvimento sustentável.

Os motores 4 tempos atuais para esse nicho de mercado, não possuem sistema de filtragem dos gases da combustão, gerando um nível alto de emissões de gases e partículas, provindos da combustão de combustíveis fósseis, que são prejudiciais ao meio ambiente. Existem normas e leis de controle de emissões de gases gerados de combustíveis fósseis, como estabelecido pelo CONAMA através do Plano de Redução de Emissões de Fontes Estacionárias (PREFE) aprovado pela Resolução de Diretoria nº 289/14/P, de 08/10/2014, visando a redução da poluição, redução do efeito estufa e na melhora da condição de vida das pessoas que estão vulneráveis.

A partir do ano 1991, com a abertura do mercado nacional para importações e depois em 1994 com a estabilidade da moeda nacional (Real) e a do dólar, devido a uma questão de custo, esses motores passaram a serem importados diretamente da

China, onde as fábricas chinesas atendem as demandas dos fabricantes nacionais, fabricando o motor na configuração escolhida pelo “fabricante” brasileiro.

Atualmente a Branco Motores Ltda. importam os motores a combustão da China, onde são fabricados com as especificações determinadas pela equipe de engenharia e de desenvolvimento de produtos da Branco Motores Ltda. Os motores a diesel são fabricados pela empresa Weima - China e os a gasolina pela empresa Amec - China. Esses motores são testados nas linhas de produção na China onde são testados com combustível chinês (gasolina pura, sem adição de etanol na composição e diesel B2 (composto por 98% de diesel puro e 2% de óleo vegetal).

O fabricante realiza os testes de potência, torque, ruído, emissões, entre outros, seguindo as normas exigidas pela Branco Motores Ltda. Para o Brasil, porém, sem a alteração do combustível para os padrões brasileiros, simplesmente por não existirem fora do país. Essa é a questão chave do trabalho, que consiste na composição combustíveis e suas variações, que são diferentes entre o Brasil e a China.

A proposta do trabalho consiste em fazer testes analisando a potência, o torque, o nível de ruído e as emissões utilizando as variações dos combustíveis nacionais, assim como a viabilidade e a aceitação (realizados através de uma pesquisa de mercado). São dois motores um ciclo Otto e outro Diesel, sendo separados por ciclos. No ciclo Otto (combustão por centelha) são 4 combustíveis testados: gasolina comum; gasolina aditivada; gasolina Premium e etanol (esse último após a conversão do motor a gasolina para etanol). No ciclo Diesel (combustão por compressão) são 5 combustíveis testados: diesel S-500(comum); diesel S-10, biodiesel com 25% de óleo de soja); biodiesel com 50% de óleo de soja) e biodiesel com 75% de óleo de soja).

Os biocombustíveis (etanol e biodiesel) remetem a alternativas de fontes de energia de baixa carga poluente, tais fontes são popularmente conhecidas por energias “limpas” e tem como objetivo reduzir a falta de energia, redução no custo da produção de energia, preço sustentável e a preservação do meio ambiente.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tema do trabalho proposto surgiu de duas propostas diferentes, a primeira com viés nas energias renováveis, sustentabilidade e eficiência energética; e a

segunda de uma pesquisa interna realizada com os principais representantes da empresa Branco Motores Ltda.

Além de refazer os testes dos motores com os combustíveis nacionais, a apresentação das duas novas propostas de combustíveis renováveis (etanol e biodiesel). A primeira a conversão do motor a gasolina para etanol, (após realizados os testes com o motor a gasolina, o mesmo foi desmontado e convertido a etanol), e a segunda, o teste do motor a diesel (sem alterações) com biodiesel em diferentes proporções, são uma opção de “novos” produtos, motores a combustíveis renováveis.

Os temas como sustentabilidade, energias renováveis, combustíveis não poluentes, emissões de gases, efeito estufa, entre outros, estão em cada vez mais comuns e aparentes no mercado mundial, o que mostra uma preocupação global com o meio ambiente e com o futuro do planeta. Com esse foco, a proposta dos motores a etanol e biodiesel, são uma alternativa para o consumidor final, que além das menores emissões de gases e danos ao meio ambiente, teriam uma opção, uma escolha a mais de combustíveis sem grande impacto no produto que já utiliza. Essa é a ideia chave da pesquisa.

1.2 OBJETIVO GERAL

Consiste na obtenção dos valores das curvas de potência, curvas de torque, aferições dos níveis de ruídos e aferições das emissões dos gases dos motores, com os diferentes combustíveis propostos (convencionais e renováveis). Além da pesquisa de mercado para analisar a viabilidade e a aceitação do uso desses combustíveis para esses tipos de ciclos de motores no mercado nacional.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar os testes nos motores: B4T-5.5 cv ignição por centelha (ciclo Otto) e BD-5.0 cv ignição por compressão (ciclo Diesel), com os combustíveis convencionais (gasolina e Diesel) e após feita a alteração, testar com os combustíveis renováveis (Etanol e Biodiesel) no dinamômetro do laboratório do setor de engenharia da Branco Motores Ltda., seguindo as normas SAE J1995 e SAE J1940;

- Realizar o teste de nível de ruído nos motores com os diferentes combustíveis propostos (convencionais e renováveis), de acordo com norma ABNT NBR ISO 8528-10;
- Realizar o teste de nível de emissões nos motores com os diferentes combustíveis propostos (convencionais e renováveis), de acordo com norma NBR 5484 (Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão - ciclo Diesel - e por centelha - ciclo Otto - de velocidade angular variável)
- Avaliar os resultados dos testes, realizando um comparativo das curvas de potência, de torque, de nível de ruído e de emissões de acordo com cada combustível testado.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho foi uma pesquisa quantitativa no qual foram realizados os testes em laboratório para a obtenção dos dados. Sendo utilizado o dinamômetro da Branco Motores Ltda. para a elaboração dos valores para elaboração das curvas de torque e potência dos motores com os combustíveis propostos no escopo do trabalho. Para a obtenção dos valores de nível de ruído foi utilizado o medidor sonoro RadioShack 33-2055 e para os valores de emissões de CO e NOx foi utilizado o analisador de gás de combustão – Madur GA-12, todos os testes para cada um dos combustíveis propostos.

As normas e o formato de aquisição dos dados estão apresentados e descritos no capítulo 5, Materiais e Métodos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), existem quatro estágios que devem ser seguidos: Identificação Preliminar, Pesquisa, Elegibilidade e Inclusão, de acordo com MENGIST, W., SOROMESSA, T., & LEGESE, G. (2020). Seguem as etapas a seguir:

- Identificação Preliminar: Utilização de combustíveis renováveis para esse mercado específico; Combustíveis com composição diferentes; Informações fornecidas pelo fabricante chinês.
- Pesquisa: Combustíveis renováveis; Motores monocilíndricos; Motores 4 tempos.
- Elegibilidade: Leitura dos artigos com relevância, o qual foram lidos os resumos dos mesmos.
- Inclusão: Artigos com relevância onde abordavam o tema, com relação as restrições da pesquisa realizada, o qual foram lidos na integra.

Para esse trabalho, foi aplicada essa metodologia de pesquisa, utilizando um os parâmetros pré selecionados, pesquisando o título da pesquisa e derivações do mesmo para obter os resultados. As quatro principais tentativas de pesquisas são mostradas a seguir.

2.1 RBS – (REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA)

2.1.1 RBS – (EVALUATION OF PERFORMANCE CURVES, EMISSIONS AND NOISE FROM 4-STROKE SINGLE-CYLINDER, SPARK-IGNITED AND COMPRESSION ENGINES ALTERED TO CONSUME ETHANOL AND BIODIESEL RESPECTIVELY))

A primeira tentativa de pesquisa foi o próprio título do trabalho proposto para verificar se não existia algum trabalho com o mesmo título ou com título semelhante. Foram utilizadas as duas bases de pesquisa, Scopus e WoS (Web of Science), sem filtros. Para essa primeira pesquisa não foi encontrado nenhum título relacionado.

Quadro 1: 1º Parâmetros de pesquisa no Mendeley.

“Strings” e Argumentos	Resultados da Pesquisa
Scopus: (EVALUATION OF PERFORMANCE CURVES, EMISSIONS AND NOISE FROM 4-STROKE SINGLE-CYLINDER, SPARK-IGNITED AND COMPRESSION ENGINES ALTERED TO CONSUME ETHANOL AND BIODIESEL RESPECTIVELY))	Scopus: Pesquisa: 0 Elegibilidade: 0 Seleção: 0
WoS: (EVALUATION OF THE PERFORMANCE CURVES, EMISSIONS AND NOISE FROM 4-STROKE SINGLE-CYLINDER, SPARK-IGNITED AND COMPRESSION ENGINES ALTERED TO CONSUME ETHANOL AND BIODIESEL RESPECTIVELY))	WoS: Pesquisa: 0 Elegibilidade: 0 Seleção: 0

Fonte: O autor.

2.1.2 RBS – (SINGLE CYLINDER STATIONARY ETHANOL POWERED ENGINE*) OR (SINGLE CYLINDER STATIONARY BIODIESEL POWERED ENGINE*)

A segunda tentativa de pesquisa foi utilizando palavras específicas relacionadas ao tema, mas separando o motor ciclo Diesel do motor ciclo Otto. Foram utilizadas as duas bases de pesquisa, Scopus e WoS, sem filtros. Devido a abrangência dos termos a seleção se “perdeu” mostrando a necessidade de uma seleção mais aprimorada. Nessa tentativa o título foi separado, buscando pelo combustível especificamente, separando o etanol do biodiesel.

Quadro 2: 2º Parâmetros de pesquisa no Mendeley - etanol.

“Strings” e Argumentos	Resultados da Pesquisa
Scopus: ((single cylinder stationary ethanol powered engine*))	Scopus: Pesquisa: 424 Elegibilidade: 5 Seleção: 0
WoS: ((single cylinder stationary ethanol powered engine*))	WoS: Pesquisa: 208 Elegibilidade: 4 Seleção: 0

Fonte: O autor.

Quadro 3: 3º Parâmetros de pesquisa no Mendeley - biodiesel.

“Strings” e Argumentos	Resultados da Pesquisa
Scopus: (single cylinder stationary biodiesel powered engine*)	Scopus: Pesquisa: 509 Elegibilidade: 7 Seleção: 0
WoS: (single cylinder stationary biodiesel powered engine*)	WoS: Pesquisa: 268 Elegibilidade: 2 Seleção: 0

Fonte: O autor.

A terceira tentativa considerou as bases de dados Scopus® e Web of Science® como referências, com a expectativa de obter uma melhor variabilidade de seleção de artigos, sendo necessária a utilização de uma combinação de argumentos lógicos AND e OR, alinhados às pesquisas específicas por palavras-chave criada pelo autor, limitando à pesquisa para publicações realizadas entre 2016 e 2021, sem limitações em áreas de pesquisa (engenharia e tecnologia), dependendo da linha de pergunta utilizada, sempre utilizando as “strings” das palavras na língua inglesa.

Quadro 4: 4º Parâmetros de pesquisa no Mendeley – uso de argumentos lógicos

“Strings” e Argumentos	Resultados da Pesquisa
Scopus: (4 stroke AND single AND cylinder AND stationary AND biodiesel AND powered AND engine*)	Scopus: Pesquisa: 202 Elegibilidade: 13 Seleção: 4
WoS: (4 stroke AND single AND cylinder AND stationary AND biodiesel AND powered AND engine*)	WoS: Pesquisa: 109 Elegibilidade: 10 Seleção: 3

Fonte: O autor.

A quarta tentativa utilizou a mesma referência da terceira tentativa, porem com limitações em áreas de pesquisa (engenharia e tecnologia), dependendo da linha de pergunta utilizada, sempre utilizando as “strings” das palavras na língua inglesa.

Quadro 5: 5º Parâmetros de pesquisa no Mendeley – uso de argumentos lógicos e filtros

“Strings” e Argumentos	Resultados da Pesquisa
Scopus: (4 stroke AND single AND cylinder AND stationary AND ethanol AND powered AND engine*)	Scopus: Pesquisa: 173 Elegibilidade: 12 Seleção: 4
WoS: (4 stroke AND single AND cylinder AND stationary AND ethanol AND powered AND engine*)	WoS: Pesquisa: 82 Elegibilidade: 10 Seleção: 3

Fonte: O autor.

Obteve-se uma seleção reduzida de artigos significativos para as perguntas selecionadas uma vez que a correlação direta entre as perguntas e os temas são relativamente pouco pesquisados (exemplo: etanol como combustível puro para veículos automotores, por enquanto somente o Brasil utiliza essa matriz energética) e existe a questão da inovação como por exemplo a conversão do motor a gasolina para etano e o motor diesel funcionando com biodiesel.

Foram encontrados artigos diversos sobre combustíveis. Novamente separa-se por ciclo de funcionamento do motor.

2.1.3 RBS – RESULTADOS OBTIDOS - MOTOR CICLO OTTO

Foram encontrados artigos sobre a conversão de motores ciclo Otto, para GN (gás natural) e GNV (gás natural veicular), Biogás (metano ou butano), implementação de novas tecnologias como *EFI* (injeção eletrônica de combustível), conversão para motores flexfuel (motores que operam com dois combustíveis ou mais, por exemplo: etanol e gasolina, assim como a mistura de ambos), entre outros. Os quais não se aplicam a esse trabalho.

Devido ao escopo restrito da pesquisa, a conversão de motor monocilíndrico a gasolina para o etanol (não sendo flexfuel), foi decisivo para a restrição na pesquisa, o que ajudou a selecionar os artigos mais relevantes a pesquisa.

2.1.4 RBS – RESULTADOS OBTIDOS - MOTOR CICLO DIESEL

Foram encontrados artigos de motores ciclo Diesel, principalmente motores multicilíndricos, funcionando com diversos combustíveis, tais como: GN (gás natural), GNV (gás natural veicular), Biogás (metano ou butano), uso do etanol em motores a diesel, implementação de novas tecnologias como EFI (injeção eletrônica de combustível), entre outras. Da mesma forma como ocorreu na pesquisa sobre motor ciclo Otto, o mesmo aconteceu com a pesquisa do ciclo Diesel, onde a maioria dos artigos não se aplicavam a esse trabalho. Devido ao escopo restrito de pesquisa, o teste de combustíveis renováveis em um motor monocilíndrico, foi decisivo para a restrição na pesquisa.

2.2 MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Trata-se de uma máquina que transforma calor em trabalho mecânico aproveitável, sendo conhecida como motor de combustão interna, onde a fonte de calor provém da queima de uma mistura de ar e combustível. Em muitas dessas máquinas, o ar atua como o oxidante principal (MARTINS, 2016). Uma das definições mais simples e básica do motor de combustão interna é transformação de energia química (através da queima do combustível) convertendo em movimento mecânica (tração para algum equipamento).

Os motores térmicos podem ser classificados em duas categorias distintas: motores de combustão externa e motores de combustão interna. Nos motores de combustão externa, o calor gerado pela queima da mistura ar-combustível é transferido para outro fluido que é responsável por produzir trabalho. Em contrapartida, nos motores de combustão interna, o trabalho é gerado diretamente pelos produtos da combustão. Isso permite simplificações na máquina, como a eliminação da necessidade de trocadores de calor para transferência de calor para o fluido de trabalho. Como resultado, os motores de combustão interna podem alcançar maior eficiência, oferecer simplicidade mecânica e apresentar redução no tamanho e peso, o que levou à sua ampla adoção, gradualmente substituindo os motores a vapor. A aplicação de maior sucesso para os motores de combustão interna ocorreu principalmente nos meios de transporte e na indústria (OBERT, 1971; TAYLOR, 1988).

Existem também duas categorias de classificação para os motores: motores rotativos e motores alternativos. Os motores alternativos de combustão interna convertem o movimento linear dos pistões em um movimento rotativo no eixo virabrequim, sendo sua principal desvantagem a produção de vibração. Por outro lado, o motor rotativo de combustão interna não incorpora componentes que realizam movimento linear, resultando em níveis de vibração mais baixos (HEYWOOD, 1988).

Focando nos motores alternativos de combustão interna, é possível classificá-los em duas categorias distintas: motores de ignição por compressão e motores de ignição por centelha.

Nos motores de ignição por centelha, que também são conhecidos como motores de ciclo Otto, a combustão da mistura ar/combustível ocorre por meio de uma centelha gerada após a compressão da mistura dentro do cilindro. Em contrapartida, nos motores de ciclo Diesel, a combustão ocorre devido à autoignição do combustível, que é injetado e misturado com o ar previamente aquecido pela compressão dentro do cilindro. Portanto, os motores de ciclo Diesel também são referidos como motores de ignição por compressão (NEVERS, 1995; HANSEN, 2008).

Os motores ciclo Diesel se destacam por sua robustez em comparação com os motores de ciclo Otto e são amplamente utilizados em atividades que requerem um alto valor torque (HANSEN, 2008). Por operarem em condições de temperatura e pressão mais elevadas, resulta em um rendimento térmico superior, maior durabilidade, menor consumo de combustível e a capacidade de utilizar uma mistura de combustível mais eficiente em comparação com a gasolina. Isso ocorre devido ao uso de excesso de ar, o que promove uma combustão mais completa. No entanto, é importante notar que esses motores tendem a ser mais dispendiosos, mais pesados e produzem níveis de ruído mais elevados (BEHAR, 1978).

O processo de conversão de energia se dá através de ciclos, que consistem na obtenção de gases pressurizados em uma câmara fechada (câmara de combustão), onde com a queima, ocorre o aumento do volume dos gases da queima, impulsionando o êmbolo (pistão), transformando a reação química (térmica) em movimento mecânico.

Os motores de combustão interna são classificados em relação ao princípio de funcionamento em dois tipos: do Ciclo OTTO e do Ciclo DIESEL. O ciclo de funcionamento é o conjunto de transformações na massa gasosa no interior da câmara, desde a sua admissão, até a sua eliminação.

O Ciclo OTTO foi descrito por Nicolas A. Otto (1.876) e o Ciclo DIESEL por Rudolf Diesel (1.893).

Ambos os ciclos podem ser completados em dois ou quatro cursos do pistão. Quando o motor completa o ciclo em dois cursos do pistão é chamado de motor de 2 Tempos e quando completa o ciclo em quatro cursos do pistão é chamado motor de 4 Tempos.

Os termos técnicos usados com maior frequência são:

- Ponto Morto Superior (PMS): posição do pistão mais próxima à parte superior do bloco (pistão em cima);
- Ponto Morto Inferior (PMI): posição do pistão mais próxima ao eixo virabrequim (pistão embaixo);
- Câmara de Combustão: volume compreendido entre o PMS e o cabeçote;
- Curso do Pistão: espaço percorrido pelo pistão do PMI ao PMS e vice-versa;
- Tempo: corresponde a um curso do pistão ou meia volta (180°) da árvore de manivelas (virabrequim).

O funcionamento dos motores de combustão interna, utilizados nesse trabalho, se realiza em ciclos onde se distinguem quatro fases distintas; admissão, compressão, expansão (combustão) e exaustão.

2.3 TIPOS DE CICLOS DE TRABALHO USADOS NOS MOTORES TESTADOS

2.3.1. CICLO OTTO

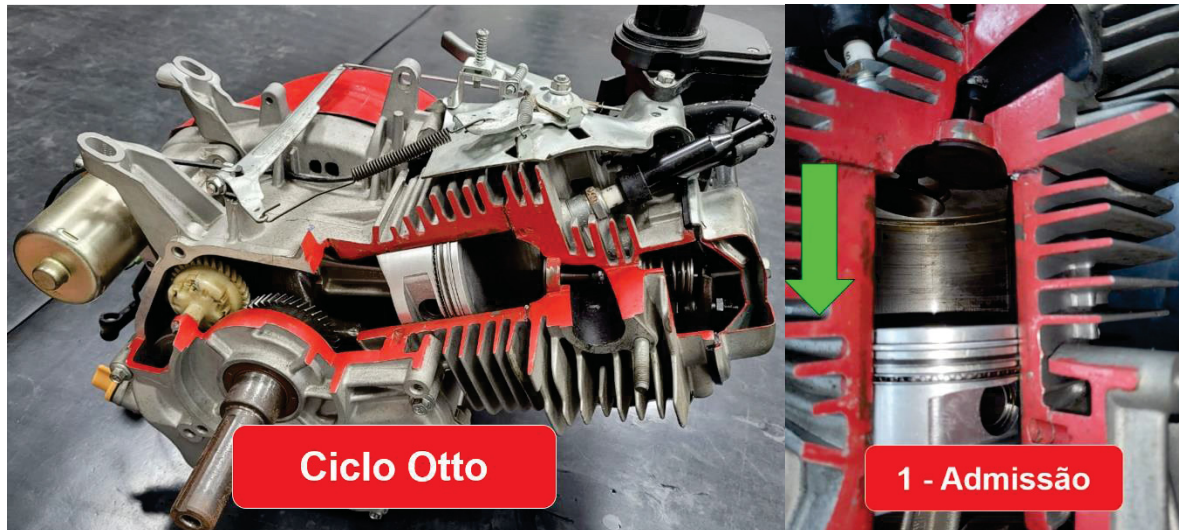
Os motores do ciclo Otto ou de ignição por centelha utilizam a faísca elétrica produzida pela vela de ignição para dar início ao processo de combustão.

Nos motores 4 Tempos a gasolina (ignição por centelha), é admitida a mistura de ar e combustível. Cada uma das 4 etapas do ciclo, é realizada em um curso do pistão, sendo que para realizar os quatro ciclos são necessárias duas voltas do virabrequim ou 720° (BRANCO, 2018).

Na sequência, foi explanado o funcionamento de cada tempo para o ciclo Otto.

1º - Primeiro Tempo: Admissão - o pistão parte do PMS para o PMI executando uma sucção da mistura de ar-combustível para o cilindro através da abertura da válvula de admissão para o ciclo Otto.

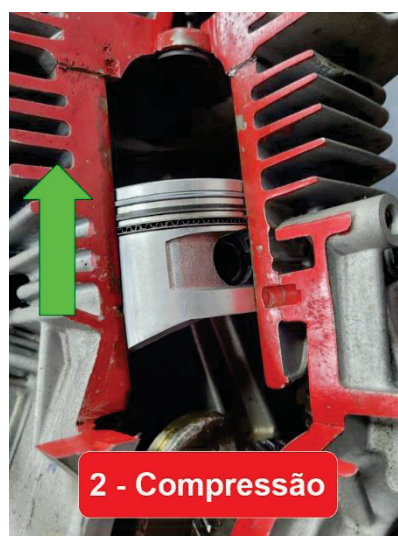
Figura 1 – Admissão ciclo Otto



Fonte: Treinamento Branco Motores

2º - Segundo Tempo: Compressão - movimento partindo do PMI ao PMS com as válvulas fechadas, onde a mistura é comprimida aumentando-se a pressão e temperatura, momentos antes do final do curso, após a centelha da vela, inicia-se a combustão e o rápido aumento da pressão para o ciclo Otto.

Figura 2 – Compressão ciclo Otto



Fonte: Treinamento Branco Motores

3º - Terceiro Tempo: Expansão (Combustão) - o pistão inicia o seu movimento descendente até o PMI devido à pressão exercida pela mistura inflamada. Tal movimento gera trabalho útil do motor.

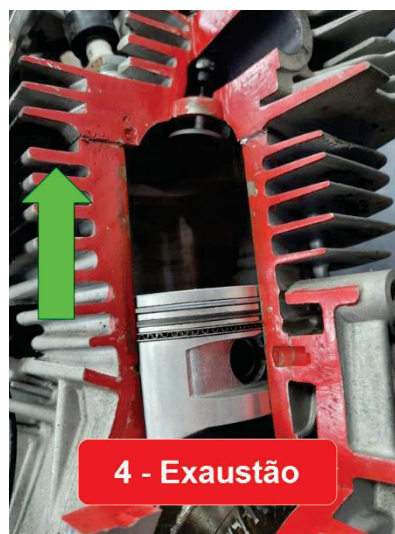
Figura 3 – Expansão ciclo Otto (Combustão)



Fonte: Treinamento Branco Motores

4º - Quarto Tempo: Exaustão - último tempo do ciclo, onde o pistão tem o seu movimento ascendente até o PMS, impelindo os gases da combustão para o sistema de escapamento por meio da abertura da válvula de escape e o ciclo se reinicia.

Figura 4 – Exaustão ciclo Otto



Fonte: Treinamento Branco Motores

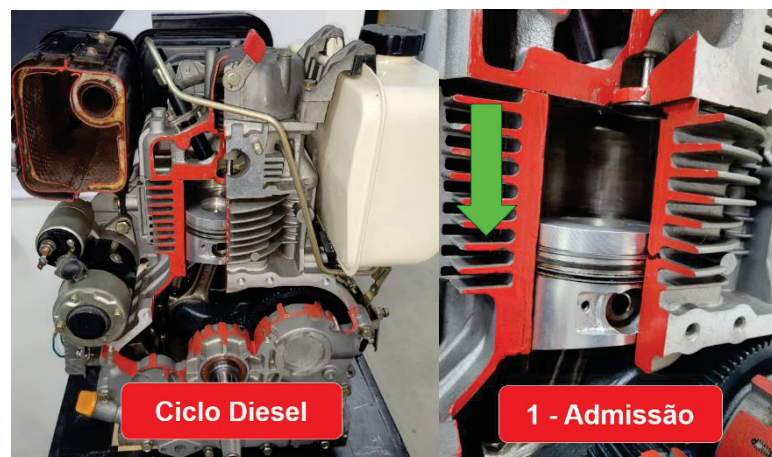
2.3.2. CICLO DIESEL

Os motores do ciclo diesel ou motores de ignição por compressão, utilizam o aumento da temperatura devido a compressão de uma massa de ar para dar início à reação de combustão, somente ar é admitido. Após a compressão, o combustível é pulverizado (injetado) na massa de ar quente dando início à combustão. Cada uma das 4 etapas do ciclo, é realizada em um curso do pistão, sendo que para realizar os quatro ciclos são necessárias duas voltas do virabrequim ou 720° (BRANCO, 2018).

Na sequência foi explanado o funcionamento de cada tempo para o ciclo Otto.

1º - Primeiro Tempo: Admissão - o pistão parte do PMS para o PMI executando uma sucção de ar apenas, para o cilindro através da abertura da válvula de admissão para o ciclo Diesel.

Figura 5 – Admissão ciclo Diesel



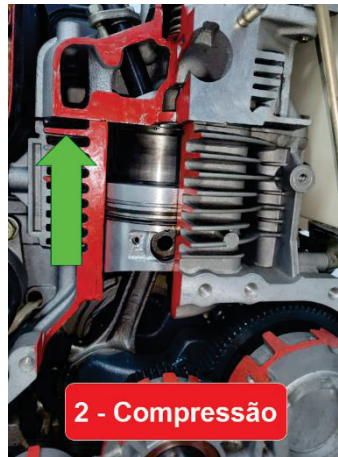
Fonte: Treinamento Branco Motores

2º - Segundo Tempo: Compressão - movimento partindo do PMI ao PMS com as válvulas fechadas, onde o ar é comprimido aumentando-se a pressão e temperatura, momentos antes do final do curso, após a pulverização do diesel, inicia-se a combustão e o rápido aumento da pressão para o ciclo Diesel.

No fim da compressão a relação volumétrica de 20:1, a pressão é de 200psi e a temperatura é de aproximadamente 900°C. Em 2,5mm (21 ° antes do PMS), o combustível é injetado na câmara de combustão. A injeção do combustível na câmara de combustão é feita pelo bico injetor que deve formar uma nevoa uniforme em suas

4 saídas. A distância e os ângulos entre os jatos também devem ser uniformes e o ângulo de 150 graus de abertura. Imediatamente após a injeção, o combustível se inflama devido ao contato com o ar aquecido, iniciando-se a combustão.

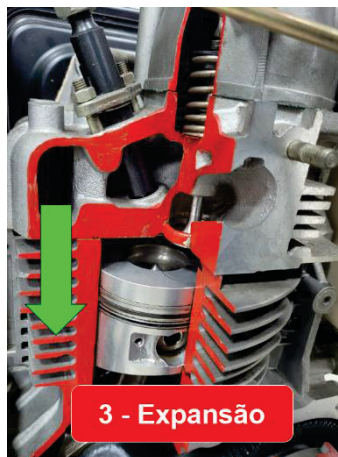
Figura 6 – Compressão ciclo Diesel



Fonte: Treinamento Branco Motores

3º - Terceiro Tempo: Expansão (Combustão) - o pistão inicia o seu movimento descendente até o PMI devido à pressão exercida pela mistura inflamada. Tal movimento gera trabalho útil do motor.

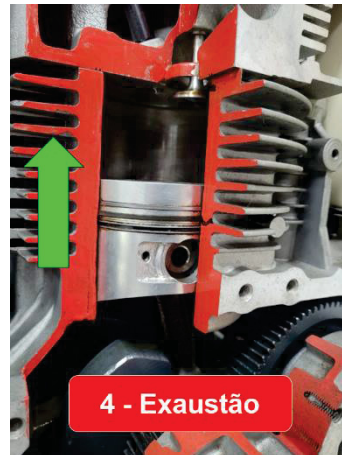
Figura 7 – Expansão ciclo Diesel (Combustão)



Fonte: Treinamento Branco Motores

4º - Quarto Tempo: Exaustão - último tempo do ciclo, onde o pistão tem o seu movimento ascendente até o PMS, impelindo os gases da combustão para o sistema de escapamento por meio da abertura da válvula de escape e o ciclo se reinicia.

Figura 8 – Exaustão ciclo Diesel



Fonte: Treinamento Branco Motores

2.4 SISTEMA DE IGNIÇÃO CICLO OTTO

O sistema de ignição desempenha o papel fundamental de criar a faísca necessária para iniciar o processo de combustão. Sua composição é essencialmente constituída por uma bobina de ignição, cuja função principal é amplificar a voltagem originado pelo imã do acoplado ao volante, até atingir níveis adequados para a formação de uma centelha. Esse arco elétrico é gerado pelo segundo componente do sistema, a vela de ignição, que é posicionada no cabeçote do motor, com uma de suas extremidades penetrando na câmara de combustão, como descrito por (BRUNETTI, 2012). O momento exato da ignição é controlado pelo posicionamento do imã do volante.

2.5 PONTO DE IGNIÇÃO CICLO OTTO

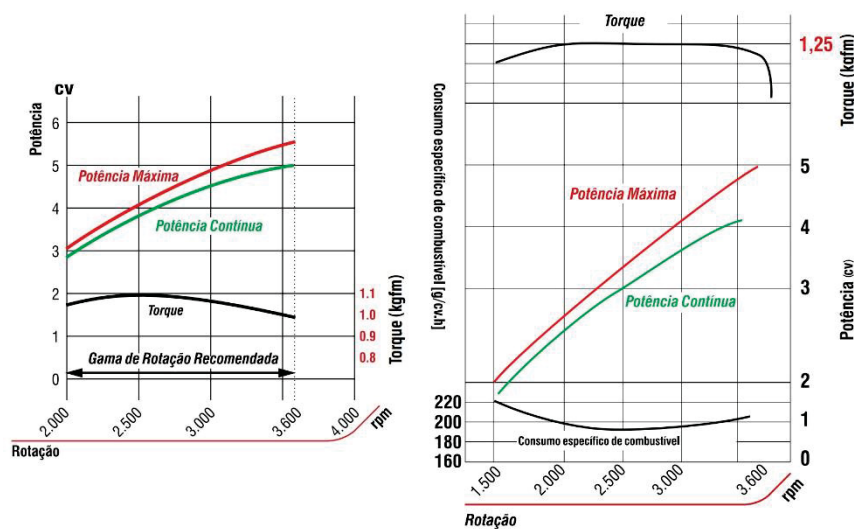
Nos motores de ciclo Otto, foi observado que há um atraso químico durante o processo de queima da mistura de ar e combustível. Isso implica que a faísca liberada pelo sistema de ignição deve ocorrer antes de o pistão atingir o ponto morto superior (PMS) e concluir a fase de compressão. Essa antecipação tem o propósito de permitir que a combustão seja totalmente consumada, resultando no alcance da pressão máxima no cilindro precisamente quando o pistão começa a fase de expansão, a terceira etapa do ciclo (BRUNETTI, 2012).

O ato de liberar a faísca um breve momento antes de o pistão alcançar o PMS ocasiona a realização de trabalho negativo ($W < 0$) seguido de trabalho positivo ($W > 0$) após o PMS. Isso contribui para a movimentação mais suave do virabrequim, com uma fase inicial de "sucção" devido ao trabalho negativo e uma subsequente fase de impulso, empurrando o pistão para baixo em decorrência da expansão dos gases (BRUNETTI, 2012).

2.6 CURVAS DE POTÊNCIA, TORQUE E CONSUMO ESPECÍFICO

De acordo com Franklin (2015), a curva típica de desempenho de um motor é elaborada com base nas medições de consumo específico, torque e potência realizadas em diferentes velocidades, mantendo a carga constante. Isso é feito com o objetivo de permitir a análise visual da eficiência térmica do motor.

Figura 9 – Gráficos Branco Motores



Fonte: Branco Motores

Conforme a figura 9 é possível identificar pontos de máximo para o torque e a potência, bem como um ponto mínimo para o consumo específico. O torque e a potência aumentam à medida que a rotação do motor cresce, alcançando seus respectivos valores máximos. No entanto, é importante notar que esses pontos máximos não necessariamente coincidem na mesma rotação. À medida que a rotação continua a aumentar além desses pontos máximos, ocorre uma diminuição notável no

torque e na potência, principalmente devido à redução acentuada da eficiência volumétrica do motor.

Por outro lado, o consumo específico diminui até atingir o seu valor mínimo, que corresponde à rotação em que o motor consome a menor quantidade de combustível. Em seguida, o consumo específico começa a aumentar, seguindo a mesma tendência de queda no desempenho observada nos outros dois parâmetros.

Para alcançar um ponto ótimo do motor, é necessário operar na faixa de rotação que engloba esses três pontos críticos, ou seja, os máximos de torque e potência e o mínimo de consumo específico.

2.7 MOTOR MONOCILÍNDRICO – ESTACIONÁRIO – 4 TEMPOS – OHV – REFRIGERADO A AR – A GASOLINA

O motor fornecido para o teste possui as seguintes características de construção: monocilíndrico, fundido em alumínio com o pistão montado em um ângulo de 45° (inclinação do mesmo), regime de operação estacionário, 4 –tempos - ciclo Otto, carburado, refrigerado a ar, lubrificação por salpico (splash) e com o sistema de comando de válvulas no cabeçote, acionado por varetas - OHV (Over Head Valve).

2.7.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS MOTOR A GASOLINA

Componentes fixos:

- Bloco ou Carcaça – peça usada como plataforma de montagem de todas as peças do motor. O motor testado possui bloco construído com liga de alumínio;
- Cabeçote – peça que fecha o cilindro e serve de plataforma de montagem de válvulas, comando... além da câmara de combustão;
- Carter – é a parte inferior do motor onde é armazenado o óleo lubrificante;
- Carburador – peça responsável pela dosagem e mistura de ar + combustível.

Componentes móveis:

- Válvulas - servem para controlar a entrada da mistura (ar + combustível) no cilindro e a saída dos gases provenientes da queima;
- Mola da válvula – Fecham as válvulas e as pressionam contra suas sedes para fazer a vedação;
- Eixo Virabrequim – peça que aloja a biela, e transforma o movimento retilíneo do pistão em movimento de rotação;
- Volante Magnético – peça circular presa ao eixo virabrequim que serve para manter uniforme o movimento de rotação e acumular energia cinética para realizar os 4 tempos do motor, contém as aletas (ventoinha) para refrigerar o motor e ímãs para a geração de energia. Nos motores com partida elétrica, este componente possui em sua volta uma engrenagem do tipo cremalheira, onde atua o motor de arranque, quando é dada a partida do motor;
- Pistões - são colocados dentro dos cilindros, suportando diretamente a força de expansão dos gases, transmitindo-a em seguida para as bielas;
- Bielas – constituem a ligação entre o pistão e o eixo virabrequim, onde o casquilho inferior da biela contém o salpicador ou splash (peça que atua como um pescador no fundo do cárter jogando o óleo lubrificante para cima, responsável pela lubrificação interna dentro do cárter do motor);
- Eixo de comando de válvulas – possui ressaltos (comes), uma para a válvula de admissão e outra para a válvula de exaustão, que atuam sobre a resistência das molas; acionando a válvula de acordo com o tempo de abertura. No eixo de comando de válvulas, encontra-se o descompressor mecânico (automático), uma peça que aciona a abertura da válvula de exaustão para liberar a compressão, facilitando a partida do motor.
- Balancins – destinam-se a pressionar o pé das válvulas, vencendo assim a ação da mola e permitindo a abertura da válvula na ocasião devida;

- Tuchos – podem ser mecânicos ou hidráulicos, nesse caso são mecânicos, tendo formato cilíndrico, sendo feitos de metal menos resistente que o metal do eixo de comando de válvulas, assentam-se sobre os ressaltos deste eixo e transmitem o movimento às válvulas diretamente ou por meio de varetas;
- Varetas – hastes de metal que ligam os tuchos aos balancins.

2.8 MOTOR MONOCILÍNDRICO – ESTACIONÁRIO – 4 TEMPOS – OHV – REFRIGERADO A AR – A DIESEL

O motor fornecido para o teste possui as seguintes características de construção: monocilíndrico, fundido em alumínio com o pistão montado em um ângulo de 90° (inclinação), regime de operação estacionário, 4 –tempos - ciclo Diesel, injeção mecânica, refrigerado a ar, lubrificação por bomba de óleo e com o sistema de comando de válvulas no cabeçote, acionado por varetas - OHV (*Over Head Valve*).

2.8.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS MOTOR A DIESEL

Componentes fixos:

- Bloco ou Carcaça – peça usada como plataforma de montagem de todas as peças do motor. O motor testado possui bloco construído com liga de alumínio;
- Cabeçote – peça que fecha o cilindro e serve de plataforma de montagem de válvulas. Na tampa do cabeçote encontra-se o descompressor mecânico (manual), uma peça que aciona a abertura da válvula de exaustão para liberar a compressão, facilitando a partida do motor (o descompressor só deve ser acionado para a partida do motor);
- Carter – é a parte inferior do motor onde é armazenado o óleo lubrificante;
- Bomba injetora – peça que alimenta o bico injetor com combustível;

- Bico injetor – peça responsável pela dosagem e injeção do combustível na câmara de combustão.

Componentes móveis:

- Válvulas - servem para controlar a entrada de ar no cilindro e a saída dos gases provenientes da queima da mistura ar mais combustível;
- Mola da válvula – Fecham as válvulas e as pressionam contra suas sedes para fazer a vedação.
- Eixo Virabrequim – peça que aloja a biela, e transforma o movimento retilíneo do pistão em movimento de rotação.
- Volante Magnético – peça circular presa ao eixo virabrequim que serve para manter uniforme o movimento de rotação e acumular energia cinética para realizar os 4 tempos do motor, contém as aletas (ventoinha) para refrigerar o motor e imãs para a geração de energia. Nos motores com partida elétrica, este componente possui em sua volta uma engrenagem cremalheira, onde atua o motor de arranque, quando é dada a partida do motor;
- Pistão - são colocados dentro dos cilindros, suportando diretamente a força de expansão dos gases, transmitindo-a em seguida para as bielas, no caso dos motores ciclo Diesel, alojam a câmara de combustão dentro do pistão;
- Bielas – constituem a ligação entre o pistão e o eixo virabrequim;
- Eixo de comando de válvulas – possui ressaltos (comes), uma para a válvula de admissão e outra para a válvula de exaustão, que atuam sobre a resistência das molas; acionando a válvula de acordo com o tempo de abertura, aciona também, a bomba de óleo, responsável pela lubrificação forçada no cárter do motor;
- Balancins – destinam-se a pressionar o pé das válvulas, vencendo assim a ação da mola e permitindo a abertura da válvula na ocasião devida;
- Tuchos – podem ser mecânicos ou hidráulicos, nesse caso são mecânicos, tendo formato cilíndrico, sendo feitos de metal menos resistente que o metal do eixo de comando de válvulas, assentam-se

sobre os ressaltos deste eixo e transmitem o movimento às válvulas diretamente ou por meio de varetas;

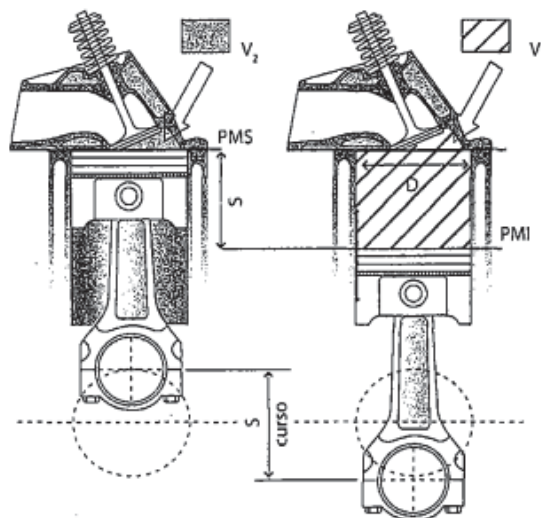
- Varetas – hastes de metal que ligam os tuchos aos balancins.

2.9 CÁLCULO DA CAPACIDADE CÚBICA E TAXA DE COMPRESSÃO

Para realizar o cálculo da capacidade cúbica do motor e da taxa de compressão, encontra-se uma vasta literatura sobre do tema, onde basicamente se resumem ao cálculo do volume de deslocamento do cilindro e do volume da câmara de combustão.

Conforme o livro Motores de Combustão Interna (Volume 1) de Brunetti, (Brunetti, 2012, p. 31-32), as especificações dos termos técnicos e siglas para a formulação do cálculo, são compreendidas como:

Figura 10 - Nomenclatura referente às posições do pistão.



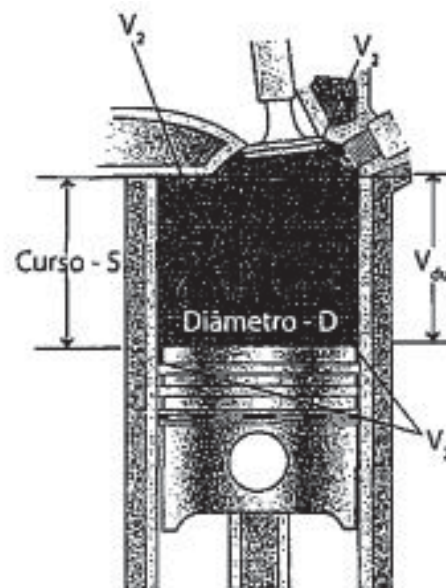
Fonte: Volume 1 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012, p.31-32)

Siglas principais:

- *PMS*: Ponto Morto Superior - é a posição na qual o pistão está o mais próximo possível do cabeçote.
- *PMI*: Ponto Morto Inferior - é a posição na qual o pistão está o mais afastado possível do cabeçote.

- S : Curso do pistão - é a distância percorrida pelo pistão quando se desloca de um ponto morto para outro (do PMS ao PMI) ou vice-versa.
- V_1 : Volume total - é o volume compreendido entre a cabeça do pistão e o cabeçote, quando o pistão está no PMI.
- V_2 : Volume morto ou volume da câmara de combustão - é o volume compreendido entre a cabeça do pistão e o cabeçote, quando o pistão está no PMS (também indicado com V_m).
- V_{du} : Cilindrada unitária - também conhecida como volume deslocado útil ou deslocamento volumétrico, é o volume deslocado pelo pistão de um ponto morto a outro.
- z : Número de cilindros do motor.
- D : Diâmetro dos cilindros do motor. V_d : Volume deslocado do motor, deslocamento volumétrico do motor ou cilindrada total.
- V_d : Volume deslocado do motor, deslocamento volumétrico do motor ou cilindrada total.

Figura 11 - Nomenclatura referente às posições do pistão. [C]



Fonte: Volume 1 / Franco Brunetti. – São Paulo: Blucher, 2012, p.31-32)

Das Figuras 1 e 2, pode-se deduzir:

$$V_{du} = V_1 - V_2 = \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right) \times S$$

Equação(1)

O volume da total câmara de combustão é composto por três componentes para o motor de ignição por centelha.

$$V_T = V_c + V_j + V_{cp} \quad \text{Equação(2)}$$

Na qual:

- V_c (volume deslocado);
- V_j (volume da junta do cabeçote metálica);
- V_{cp} (volume da câmara de combustão do pistão - ressalto negativo do pistão);

O volume da total câmara de combustão é composto por dois componentes para o motor de ignição por compressão.

$$V_T = V_c + V_j \quad \text{Equação(3)}$$

Na qual:

- $V_c = V_{cp}$ (volume da câmara de combustão do pistão, no caso do motor a diesel a câmara de combustão se encontra dentro do pistão);
- V_j (volume da junta do cabeçote metálica).

Obs: O motor Diesel não apresenta ressalto no pistão, sendo reto.

Para um motor de z cilindros (multicilíndro), a cilindrada ou deslocamento volumétrico do motor V_d será:

$$V_d = V_{du} \times z = \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right) \times S \times z \quad \text{Equação(4)}$$

r_v : A Relação volumétrica ou taxa de compressão é a relação entre o volume total (V_1) e o volume morto (V_2), e representa em quantas vezes V_1 é reduzido.

$$r_v = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Equação(5)}$$

Da Equação(1):

$$V_{du} + V_2 = V_1 \rightarrow V_{du} = V_1 - V_2$$

$$r_v = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{du}+V_2}{V_2} = \frac{V_{du}}{V_2} + 1 \quad \text{Equação(6)}$$

De acordo com o livro Motores de Combustão Interna e seus Sistemas do Tillmann, (Tillmann, C. A. C, Motores de Combustão Interna e seus Sistemas – Pelotas – RS: e-Tec Brasil, 2013, p.135-137), a forma de cálculo é compreendida como:

$$T_c = \frac{(V_{cc})+V_c}{V_c} \quad \text{Equação(7)}$$

$$T_c = \frac{\left(\left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times L\right)+V_c}{V_c} \quad \text{Equação(8)}$$

Na qual:

- T_c = Taxa de compressão;
- V_{cc} = Volume total de um cilindro (capacidade cúbica do motor/número de cilindro);
- V_c = Volume da câmara de combustão;
- D = Diâmetro do cilindro do motor;
- L = Curso do pistão (Ponto Morto Superior – Ponto Morto Inferior).

As fórmulas utilizadas para o cálculo da capacidade cúbica e as medições de taxa de compressão foram:

$$C = \pi \times r^2 \times h \times n \quad \text{Equação(9)}$$

Sendo:

- C = Cilindrada medida (cm³ ou cc)
- r = Raio do diâmetro do pistão/camisa (cm)
- h = Curso realizado pelo pistão (cm)
- n = Número de pistões

$$T_c = \frac{c+v}{v} \quad \text{Equação(10)}$$

Sendo:

- T = Taxa de compressão
- C = Cilindrada medida (cm³ ou cc)
- v = Volume medido da câmara (ml)

2.10 CÁLCULO DA POTÊNCIA E DO TORQUE

Conforme (HEYWOOD, 1988) explica, o torque (T) medido por um dinamômetro corresponde ao momento de torção médio presente no eixo do motor, o qual está disponível para mover uma carga. Esse torque representa a habilidade do motor para realizar trabalho. Por outro lado, a potência representa a velocidade com que esse trabalho é executado. O funcionamento do motor envolve três tipos de potência: potência efetiva, potência indicada e potência de atrito.

Potência Efetiva (W) – é a potência desenvolvida no eixo do motor, podendo ser calculada pela Equação(11)

$$\dot{W} = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{(60 \times 745,7)} \quad \text{Equação(11)}$$

Sendo:

- \dot{W} – potência efetiva [hp];
- N – rotação do virabrequim [rotação/minuto];
- T – torque [N.m];

Potência de atrito (\dot{W}_{at}) - representa a potência utilizada para mover os componentes móveis do motor, incluindo o comando de válvulas, pistões, anéis, bomba de óleo e outros elementos similares. Essa potência pode ser avaliada por meio de um dinamômetro elétrico, que é empregado quando o motor está desligado, mas é ativado pelo dinamômetro. Isso possibilita a medição da potência de atrito.

Potência indicada (\dot{W}_i) - corresponde à potência gerada pelo fluido de trabalho que age sobre o pistão. Isso é calculado por meio da Equação 12:

$$\dot{W}_i = \dot{W}_{at} + \dot{W} \quad \text{Equação(12)}$$

2.11 CÁLCULO DA RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL

A relação ar-combustível (A/C) entre o fluxo de ar (\dot{m}_a) e fluxo de combustível (\dot{m}_c) que compõem a mistura, assim como definido pela Equação 13 (BRUNETTI, 2012).

$$\frac{A}{C} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c} \quad \text{Equação(13)}$$

Sendo:

- \dot{m}_a – Vazão mássica de ar;
- \dot{m}_c – Vazão mássica de combustível

2.12 CONSIDERAÇÕES CAPÍTULO 2

Apresentação dos resultados da RBS (Revisão Bibliográfica Sistemática) mostrou-se insuficiente para a elaboração total do capítulo, devido a pequena quantidade de artigos selecionados. Por essa razão foi realizada a revisão bibliográfica convencional, fundamentada principalmente em livros com assuntos abordados no escopo do trabalho, como as definições de conceitos e as formulações para os cálculos realizados.

3 ANÁLISE DE MERCADO

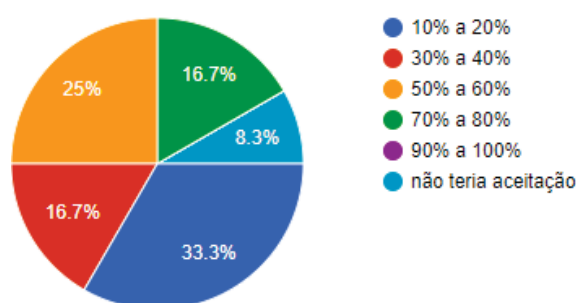
3.1 PESQUISA DE MERCADO

Este capítulo destina-se a verificar a aceitação do mercado para as propostas apresentadas no trabalho: Os testes dos motores já existentes, o motor a gasolina e o motor a diesel, além de duas novas propostas, o motor movido a etanol (partindo da conversão do motor a gasolina para etanol) e o motor diesel sendo testado com variações de biodiesel.

Para essa análise foi realizada uma pesquisa de mercado com os principais representantes comerciais de cada região do país, com base no conhecimento dos mesmos. Na pesquisa foram selecionadas as sete perguntas de maior relevância de acordo com o autor.

1ª - Com base no conhecimento da sua região de atuação, qual seria a aceitação do mercado para motores a etanol (somente a etanol não sendo flexfuel)? Pensando em uma opção ao invés do motor a gasolina (imagine com preços similares aos motores a gasolina).

Gráfico 1 – Aceitação para motores a etanol.



Fonte: O autor.

Região Norte, azul claro com 8,3% - não teria aceitação

Região Nordeste, azul escuro com 33,3% - 10% a 20% de aceitação

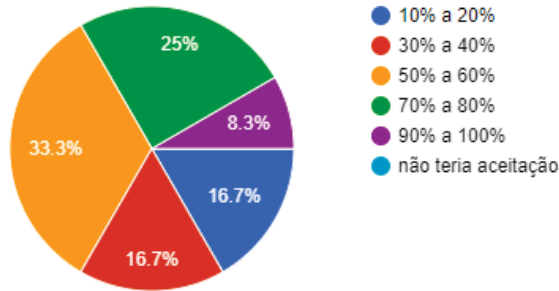
Região Centro-Oeste, laranja com 25,0% - 50% a 60% de aceitação

Região Sudeste, verde com 16,7% - 70% a 80% de aceitação

Região Sul, vermelho com 16,7% - 30% a 40% de aceitação

2ª - Com base no seu conhecimento da sua região, qual seria a aceitação do mercado para motores a biodiesel (diesel + óleo vegetal)? Pensando em uma opção ao invés do motor a diesel (imagine com preços similares ao motor diesel).

Gráfico 2 – Aceitação para motores a biodiesel.

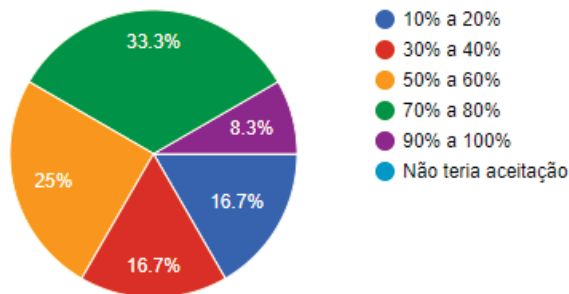


Fonte: O autor.

- Região Norte, azul com 16,7% - 10% a 20% de aceitação
- Região Nordeste, roxo com 8,3% - 90% a 100% de aceitação
- Região Centro-Oeste, laranja com 33,3% - 50% a 60% de aceitação
- Região Sudeste, verde com 25% - 70% a 80% de aceitação
- Região Sul, vermelho com 16,7% - 30% a 40% de aceitação

3ª - Na sua região, qual seria a porcentagem de mercado que uma linha de motores a combustíveis renováveis atingiria? (Com o apelo para o argumento de venda de energia limpa)

Gráfico 3 – Aceitação para motores a combustíveis renováveis



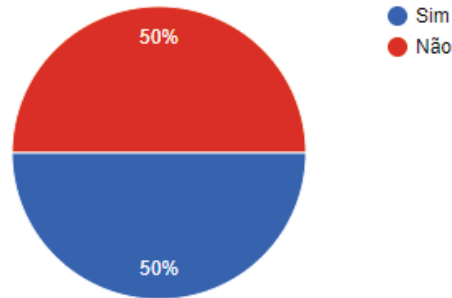
Fonte: O autor.

- Região Norte, azul com 16,7% - 10% a 20% de aceitação
- Região Nordeste, roxo com 8,3% - 90% a 100% de aceitação
- Região Centro-Oeste, laranja com 25,0% - 50% a 60% de aceitação

Região Sudeste, verde com 33,3% - 70% a 80% de aceitação
 Região Sul, vermelho com 16,7% - 30% a 40% de aceitação

4ª - Na sua região de atuação existe alguma implicação com as emissões de poluentes dos motores nas questões ambientais (relacionadas ao meio ambiente)?

Gráfico 4 – Implicação com emissões de poluentes dos motores



Fonte: O autor.

Região Norte, azul com 25% - sim e vermelho 75% - não.

Região Nordeste, azul com 45% - sim e vermelho 55% - não.

Região Centro-Oeste, azul com 34% - sim e vermelho 66% - não.

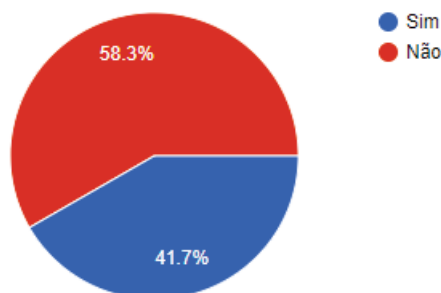
Região Sudeste, azul com 66% - sim e vermelho 34% - não.

Região Sul, azul com 80% - sim e vermelho 20% - não.

Média geral: 50% sim e 50% não

5ª - Na sua região existe algum incentivo fiscal do governo para a utilização de combustíveis renováveis (fontes menos poluentes)? Informação baseada no conhecimento de cada representante, sem vínculo com políticas governamentais.

Gráfico 5 – Incentivo fiscal do governo.



Fonte: O autor.

Região Norte, azul com 33% - sim e vermelho 66% - não.

Região Nordeste, azul com 46% - sim e vermelho 54% - não.

Região Centro-Oeste, azul com 40% - sim e vermelho 60% - não.

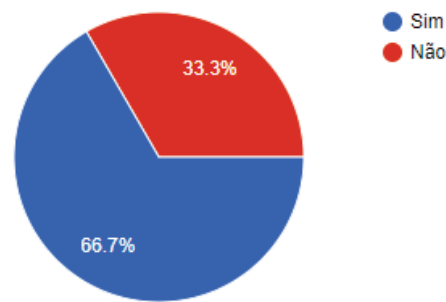
Região Sudeste, azul com 41,5% - sim e vermelho 59,5% - não.

Região Sul, azul com 48% - sim e vermelho 52% - não.

Média geral: 41,7% sim e 58,3% não

6ª - Na sua região o preço do combustível é determinante para a escolha do tipo do ciclo do motor (diesel x gasolina)?

Gráfico 6 – Relevância do preço do combustível.



Fonte: O autor.

Região Norte, azul com 83,5% - sim e vermelho 16,5% - não.

Região Nordeste, azul com 55% - sim e vermelho 45% - não.

Região Centro-Oeste, azul com 50% - sim e vermelho 50% - não.

Região Sudeste, azul com 55% - sim e vermelho 45% - não.

Região Sul, azul com 90% - sim e vermelho 10% - não.

Média geral: 66,7% sim e 33,3% não

7ª – Qual seria a porcentagem de aceitação do mercado para os combustíveis renováveis em relação aos combustíveis convencionais (diesel ou gasolina)?

A resposta para essa pergunta obteve uma variação de 2%(mínima) até 25%(máxima), ficando com a média de 11,8% de aceitação do mercado. Com base nesse número, mostra-se uma opção a ser considerada, pois mesmo que seja inferior a essa média, o valor é considerável, levando em conta o montante anual de produtos que utilizam esses motores a combustão interna.

3.2 OPORTUNIDADES

Atualmente não existe concorrência para essas duas novas propostas de motores a combustíveis renováveis no mercado nacional. Além disso, possui um potencial de abranger um nicho ecológico, pois trabalha com o conceito de energia limpa, considerando os combustíveis renováveis (etanol e biodiesel). Como a busca por novas fontes de energia menos poluentes e a preocupação com a sustentabilidade, a nova proposta apresenta um viés de baixo custo, ou seja, poucas alterações ou nenhuma alteração em relação ao motor original.

Para o mercado atual o motor a diesel e gasolina, não necessitaram de alterações, pois foram apenas testadas com os combustíveis propostos. O motor diesel foi testado com óleo diesel e as misturas de biodiesel. O motor a gasolina foi testado com os tipos de gasolina existentes no mercado nacional.

Já o motor a etanol, apresenta alterações mínimas, em relação ao motor movido a gasolina. A similaridade com o motor a gasolina tem o propósito de manter o preço final do motor a etanol o mais perto possível ao preço do motor gasolina. Para que se torne uma opção de escolha. Outro ponto é que para o motor movido a etanol, a rede de assistência técnica já é capacitada para efetuar a manutenção ou reparo, sem demanda de investimento em nova ferramental e nem treinamento especializado, pois o motor é similar aos encontrados no mercado nacional, os quais os técnicos já possuem conhecimento.

Os motores em questão possuem tecnologias antigas desenvolvidas na década de 60 embarcadas nos projetos, por exemplo: o motor a gasolina e etanol utilizam sistema de carburação e o motor a diesel utiliza bomba injetora mecânica, ambos não possuem sistema de filtragem dos gases oriundos da queima do combustível.

Uma opção seria investir em tecnologias já existentes, tais como: injeção eletrônica, catalizadores, entre outras. Porém, para esse mercado não são uma alternativa viável economicamente, pois alteraria o preço do produto final (encarecendo) e o cliente final não aceitaria pagar a mais por isso, de acordo com a pesquisa de mercado. O fator determinante de escolha na compra do motor é o preço final do motor e não o tipo de combustível ou sua proposta.

3.3 PÚBLICO ALVO

O público-alvo para esses motores, como o motor a etanol, motor a gasolina, motor a diesel e o motor a biodiesel, consiste principalmente em pessoas que dependem de motores de combustão interna. Essa dependência pode ser justificada por diversos motivos, como a distância de uso do equipamento, a ausência de acesso à rede elétrica ou até mesmo questões relacionadas à mobilidade. Esse mercado pode ser dividido em dois grupos de usuários: o primeiro engloba pessoas que utilizam os motores em áreas urbanas e inclui exemplos como: operadores de moendas de cana, tratores usados em jardinagem, proprietários de pequenas embarcações (pescadores), feirantes, vendedores ambulantes e todos aqueles que não têm acesso a uma fonte elétrica. O segundo grupo abrange pequenos produtores rurais que necessitam desses motores para equipamentos como tratores, bombas de irrigação, geradores ou qualquer outra máquina que exija um motor de combustão interna como fonte de energia principal.

3.4 INCENTIVO FINANCEIRO

O Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) oferece o programa FINAME, uma modalidade de empréstimo destinada a pequenas empresas e pequenos produtores rurais, que visa apoiar o financiamento de máquinas e equipamentos (BNDES, 2020). Há uma nova linha de crédito para energias renováveis, que englobam os combustíveis renováveis, no caso o biodiesel e o etanol. Essa iniciativa tem o potencial de estimular a adoção de combustíveis renováveis no mercado nacional, devido ao estímulo financeiro para inovação na indústria e ao aumento da competitividade, representando uma alternativa aos combustíveis fósseis.

3.5 PREÇO DO COMBUSTÍVEL

O preço do combustível torna-se um dos fatores decisivos na hora da escolha de um motor a combustão. O cliente final geralmente não considera as diferenças construtivas e características de durabilidade, características técnicas, etc. O preço

do combustível é um fator de determinante na escolha pelo cliente final. Devido à grande área do território brasileiro, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP) mostra o uso de um determinado combustível por região.

Ocorrem diferenças de preços dos combustíveis para cada região do país. Um exemplo, em regiões como o Sudeste e o Centro-oeste, grandes produtores de cana-de-açúcar e etanol, o preço do etanol é mais atrativo que nas outras regiões, por isso a importância da divisão por regiões, para entender as demandas do mercado.

Os valores referentes ao ano de 2022, mês de outubro, semana 23/10/2022 a 29/10/2022, são apresentados pela Tabela 1, onde mostra os valores da gasolina comum por região do país. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP).

Tabela 1: Comparativo de preço da gasolina comum por regiões no período de outubro de 2022

DATA INICIAL	DATA FINAL	REGIAO	PRODUTO	NUMERO DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO MÉDIO REVENDA	DESVIO PADRÃO REVENDA	PREÇO MÍNIMO REVENDA	PREÇO MÁXIMO REVENDA
23/10/2022	29/10/2022	CENTRO OESTE	GASOLINA COMUM	222	4,86	0,189	4,34	5,29
23/10/2022	29/10/2022	NORDESTE	GASOLINA COMUM	388	5,06	0,265	4,39	5,60
23/10/2022	29/10/2022	NORTE	GASOLINA COMUM	209	4,97	0,316	4,33	5,79
23/10/2022	29/10/2022	SUDESTE	GASOLINA COMUM	1536	4,87	0,298	3,49	7,34
23/10/2022	29/10/2022	SUL	GASOLINA COMUM	509	4,82	0,233	4,34	5,59

Fonte: ANP (2022)

Os valores referentes ao ano de 2022, mês de outubro, semana 23/10/2022 a 29/10/2022, são apresentados pela Tabela 2, onde mostra os valores da gasolina aditivada por região do país. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP).

Tabela 2: Comparativo de preço da gasolina aditivada por regiões no período de outubro de 2022

DATA INICIAL	DATA FINAL	REGIAO	PRODUTO	NUMERO DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO MÉDIO REVENDA	DESVIO PADRÃO REVENDA	PREÇO MÍNIMO REVENDA	PREÇO MÁXIMO REVENDA
23/10/2022	29/10/2022	CENTRO OESTE	GASOLINA ADITIVADA	142	4,97	0,193	4,54	5,39
23/10/2022	29/10/2022	NORDESTE	GASOLINA ADITIVADA	311	5,28	0,314	4,65	6,95
23/10/2022	29/10/2022	NORTE	GASOLINA ADITIVADA	136	5,19	0,261	4,59	6,09
23/10/2022	29/10/2022	SUDESTE	GASOLINA ADITIVADA	1189	5,09	0,357	4,39	7,99
23/10/2022	29/10/2022	SUL	GASOLINA ADITIVADA	455	4,96	0,274	4,37	5,79

Fonte: ANP (2022)

Os valores referentes ao ano de 2022, mês de outubro, semana 23/10/2022 a 29/10/2022, são apresentados pela Tabela 3, onde mostra os valores do diesel por região do país. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP).

Tabela 3: Comparativo de preço do diesel comum S-500 por regiões no período de outubro de 2022

DATA INICIAL	DATA FINAL	REGIAO	PRODUTO	NÚMERO DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO MÉDIO REVENDA	DESVIO PADRÃO REVENDA	PREÇO MÍNIMO REVENDA	PREÇO MÁXIMO REVENDA
23/10/2022	29/10/2022	CENTRO OESTE	OLEO DIESEL	130	6,56	0,257	4,65	6,99
23/10/2022	29/10/2022	NORDESTE	OLEO DIESEL	116	6,81	0,405	4,80	7,74
23/10/2022	29/10/2022	NORTE	OLEO DIESEL	116	6,96	0,405	6,19	7,99
23/10/2022	29/10/2022	SUDESTE	OLEO DIESEL	576	6,48	0,274	5,96	7,49
23/10/2022	29/10/2022	SUL	OLEO DIESEL	230	6,37	0,293	5,87	7,39

Fonte: ANP (2022)

Os valores referentes ao ano de 2022, mês de outubro, semana 23/10/2022 a 29/10/2022 são apresentados pela Tabela 4, onde mostra os valores do diesel S-10 por região do país. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP).

Tabela 4: Comparativo de preço do diesel S-10 por regiões no período de outubro de 2022

DATA INICIAL	DATA FINAL	REGIAO	PRODUTO	NÚMERO DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO MÉDIO REVENDA	DESVIO PADRÃO REVENDA	PREÇO MÍNIMO REVENDA	PREÇO MÁXIMO REVENDA
23/10/2022	29/10/2022	CENTRO OESTE	OLEO DIESEL S10	154	6,66	0,186	6,19	6,99
23/10/2022	29/10/2022	NORDESTE	OLEO DIESEL S10	287	6,89	0,322	6,25	8,49
23/10/2022	29/10/2022	NORTE	OLEO DIESEL S10	159	6,87	0,398	6,29	7,99
23/10/2022	29/10/2022	SUDESTE	OLEO DIESEL S10	991	6,61	0,312	6,02	8,49
23/10/2022	29/10/2022	SUL	OLEO DIESEL S10	358	6,53	0,296	5,96	7,88

Fonte: ANP (2022)

Os valores referentes ao ano de 2022, mês de outubro, semana 23/10/2022 a 29/10/2022, são apresentados pela Tabela 5, onde mostra os valores do etanol por região do país. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP).

Tabela 5: Comparativo de preço do etanol por regiões no período de outubro de 2022

DATA INICIAL	DATA FINAL	REGIAO	PRODUTO	NÚMERO DE POSTOS PESQUISADOS	PREÇO MÉDIO REVENDA	DESVIO PADRÃO REVENDA	PREÇO MÍNIMO REVENDA	PREÇO MÁXIMO REVENDA
23/10/2022	29/10/2022	CENTRO OESTE	ETANOL HIDRATADO	222	3,39	0,236	2,97	4,59
23/10/2022	29/10/2022	NORDESTE	ETANOL HIDRATADO	361	3,78	0,439	3,19	6,19
23/10/2022	29/10/2022	NORTE	ETANOL HIDRATADO	110	4,08	0,402	3,75	5,49
23/10/2022	29/10/2022	SUDESTE	ETANOL HIDRATADO	1487	3,62	0,336	3,09	4,99
23/10/2022	29/10/2022	SUL	ETANOL HIDRATADO	303	3,88	0,529	3,39	6,90

Fonte: ANP (2022).

Ocorre uma variação significativa de preços dos combustíveis (cada um dos cinco combustíveis listados acima) entre as 5 regiões do país, por isso a importância

de exemplificar a diferença e mostrar a interferência na questão de escolha do motor pelo cliente final devido ao preço do combustível.

3.6 TAMANHO DO MERCADO

Para estipular o tamanho do mercado para os motores a gasolina, diesel e etanol foram utilizadas as informações sobre o volume total de importação de motores, retiradas do SISCORI da Receita Federal (Portal Único Siscomex, 2022), mesmo com a queda do banco de dados SISCORI ocorrida me 2022, os dados extraídos ainda são válidos para entendermos a quantidade de importações de produtos e motores. Para essa a obtenção do número total de importações foi utilizada a classificação NCM de cada um dos motores e seus respectivos produtos acoplados.

De acordo com a classificação NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul), que é uma nomenclatura regional para categorização de mercadorias adotada pelos principais países integrantes do Mercosul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai) desde 1995, sendo utilizada em todas as operações de comércio exterior dos países do Mercosul. (Receita Federal - Ministério da Economia, 2022).

Para motores a combustão interna diesel 4 tempos, o código NCM é o 84089090 e no período de julho de 2021 a Junho de 2022 foi trazido para o mercado brasileiro o montante de 4314 unidades, conforme a tabela 6:

Tabela 6: Quantidade anual de motores de 5.0cv diesel trazidos 07/2021 a 06/2022

Motor BD 5.0cv	Unidades/ano
Motores	1784
Motobombas	1727
Geradores	803
Total	4314

Fonte: SISCORI (2022)

Para motores a combustão interna gasolina 4 tempos, o código NCM é o 84079000 e no período de julho de 2021 á Junho de 2022 foi trazido para o mercado brasileiro o montante de 57160 unidades, conforme a tabela abaixo:

Tabela 7: Quantidade anual de motores de 5.5cv gasolina trazidos 07/2021 a 06/2022

Motor B4T 5.5cv	Unidades/ano
Motores	20259
Motobombas	31353
Geradores	5548
Total	57160

Fonte: SISCORI (2022)

3.7 CONSIDERAÇÕES CAPÍTULO 3

O mercado atual para esses motores contempla os combustíveis gasolina e diesel. Para o desenvolvimento de mercado para combustíveis renováveis de motores a etanol e a biodiesel foi realizada uma pesquisa exclusiva sobre o tema, levando em conta: as principais regiões do país, público-alvo (usuário), oportunidades (potencial de impacto de um “novo produto”), benefícios, tamanho de mercado, assim como o preço do combustível.

Um dos pontos aferidos na pesquisa foi o fator de escolha determinante do preço do combustível (66% de impacto), e as regiões de impacto. A região Sudeste e Centro-oeste são as mais demonstraram aceitação para os combustíveis renováveis. Isso devido ao preço do combustível nas mesmas. A região Sudeste, por exemplo tem o preço do etanol muito atrativo e na região Centro-oeste a disponibilidade de biodiesel (possibilidade de fabricação de várias fontes alternativas).

Considerando um mercado anual com demanda de 57160 (SISCORI 2022) para os produtos a gasolina e um de 4314 (SISCORI 2022) para produtos a diesel (lembrando que são apenas na faixa de potência de 5.5 cv gasolina e 5.0 cv a diesel), a aceitação média seria de 11,8%, o que representaria um montante anual de 6744 unidades para o etanol e de 512 unidades para o biodiesel, de acordo com a pesquisa realizada.

Esse montante englobaria uma “nova linha” de produtos voltada para combustíveis renováveis, uma alternativa para o mercado atual. Essa nova linha não tiraria espaço das linhas de produtos atuais, mas criaria uma nova fatia de mercado para combustíveis alternativos, sendo uma opção a mais para a escolha do cliente final.

4 COMBUSTÍVEIS

Os combustíveis líquidos derivados de petróleo sofrem alterações em suas composições de acordo com a legislação vigente em cada país. No Brasil, o Ministério de Minas e Energia possui a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) que regulamenta os combustíveis. Isso varia de país para país, pois leva-se em conta a capacidade de produção petrolífera, a capacidade de refinamento, a capacidade de destilação, entre outros processos e o montante (não produzido no país e/ou com baixa produção) a ser importado de outros países.

Para esse trabalho o estudo será dividido em quatro combustíveis nacionais: a gasolina; diesel; biodiesel, o etanol. Pois o foco da pesquisa é verificar os valores curvas de potência, curvas de torque, emissões e ruído com cada combustível nacional, quando comparado ao combustível chinês (gasolina pura).

4.1 GASOLINA

A gasolina nacional possui novas especificações estabelecidas pela ANP na Resolução nº 807/2020, entraram em vigor no dia três de agosto do ano de 2022. De acordo com a ANP essas novas especificações aprimoram a qualidade da gasolina brasileira, proporcionam maior eficiência energética, melhorando a autonomia dos veículos pela diminuição de consumo, e viabilizam a introdução de tecnologias de motores mais eficientes, com menores níveis de consumo e emissões atmosféricas.

A gasolina C é aquela que contém etanol anidro combustível no teor estabelecido pela legislação vigente. Atualmente, o teor de etanol anidro é de 27,5% em volume para gasolina comum e aditivada, para a gasolina podium® é de 25% conforme Portaria MAPA nº 75/2015. (Fonte: ANP 2022)

Para esse trabalho os combustíveis selecionados para os testes são da Petrobras.

4.1.1 GASOLINA COMUM

A gasolina Comum, Tipo C, é a gasolina de entrada, a mais simples encontrada no mercado nacional.

Tabela 8: Especificações técnicas da gasolina comum.

	Gasolina Comum
Octanagem - RON	93
Massa Especifica	715,0 kg/m ³
Teor de Enxofre	50 mg/kg

Fonte: Manual da Gasolina 2021 – Petrobras.

O valor mínimo de octanagem RON, para a gasolina comum, era de 92 até 3 de agosto de 2020, passando para 93, a partir de 1º de janeiro de 2022.

Os motores a gasolina comercializados pela Branco Motores Ltda, possuem sistema de carburação simples, sendo esse (gasolina comum) o combustível recomendado pelo fabricante.

4.1.2 GASOLINA ADITIVADA

A gasolina aditivada, Tipo A, tem uma imagem de ser uma gasolina superior a comum, mas na realidade é uma gasolina comum com aditivos, não deve ser confundida com a gasolina podium® (premium), pois não se trata de uma categoria de qualidade específica de combustível na regulamentação da ANP.

A composição gasolina aditivada nada mais é do que a gasolina C automotiva (comum ou Premium) acrescida de um detergente/dispersante.

Tabela 9: Especificações técnicas da gasolina aditivada.

	Gasolina Aditivada
Octanagem - RON	93
Massa Especifica	715,0 kg/m ³
Teor de Enxofre	50 mg/kg

Fonte: Manual da Gasolina 2021 – Petrobras.

Cada distribuidora de combustível é responsável pela determinação desse detergente/dispersante específico de sua própria gasolina aditivada, que contém um aditivo próprio, selecionado, cuja função primária é manter limpo o motor e evitar ou minimizar a formação de depósitos e a deterioração do mesmo.

A aquisição da gasolina aditivada é uma escolha do consumidor que deve observar suas experiências pessoais e as orientações do manual do fabricante de cada motor.

4.1.3 GASOLINA PODIUM®

A gasolina Premium (Podium®), por sua vez, é aquela em que as propriedades de octanagem (RON) são superiores às encontradas na gasolina comum. É indicada para veículos que requeiram ou exijam combustível de maior octanagem para o correto aproveitamento da capacidade do motor. Em geral, para motores de alto desempenho tem-se a necessidade do uso de gasolina podium®. Essa informação consta do manual do fabricante.

Tabela 10: Especificações técnicas da gasolina Podium®.

	Gasolina Premium
Octanagem - RON	97
Massa Específica	715,0 kg/m ³
Teor de Enxofre	50 mg/kg

Fonte: Manual da Gasolina 2021 – Petrobras.

No caso do trabalho, foi realizado o teste com esse combustível, mas devido à ausência de tecnologia do motor (sendo carburado e a baixa taxa de compressão), não se recomenda a sua utilização, devido ao aumento de temperatura e o desgaste interno sofrido pelos componentes como pistão, anéis, biela, entre outros.

O motor testado não foi projetado para esse tipo de combustível com octanagem superior. Outro ponto é o custo-benefício, pois o aumento de potência é baixo em relação ao aumento de desgaste dos componentes e a redução da vida útil do motor.

Tabela 11: Especificações da gasolina Comum e Premium

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE				MÉTODO	
		Gasolina Comum		Gasolina Premium		ABNT NBR	ASTM
		A	C	A	C		
Cor	-	(1)				visual	
Aspecto	-	(2)				14954	D4176 (3)
Teor de Etanol Anidro Combustível (EAC)	% volume	(4)	(5)	(4)	(5)	13992	D5501 (6)
Massa específica a 20 °C, min. (22)	kg/m ³	(7)	715,0	(7)	715,0	7148 14065	D1298 D4052
Destilação (8)						9619	D86 D7345 (9)
10% evaporados, máx.	°C	65,0					
50% evaporados (22)		77,0 a 120,0	Máx. 80,0	77,0 a 120,0	Máx. 80,0		
90% evaporados, máx.		190,0					
PFE, máx.		215,0					
Resíduo, máx.	% volume	2,0					
Nº de Octano Motor - MON, min. (10)	-	-	82,0	-	anotar	-	D2700
Nº de Octano Pesquisa - RON, min. (10)(22)	-	-	92,0(11) 93,0 (22)	-	97,0	-	D2699
Pressão de Vapor a 37,8 °C (12)	kPa	45,0 a 62,0	69,0 (máx.)	45,0 a 62,0	69,0 (máx.)	14149 16306	D4953 D5191 D5482 D6378
Goma Atual Lavada, máx.	mg/100 mL	5				14525	D381
Período de Indução a 100 °C, min. (13)	min.	-	360	-	360	14478	D525
Corrosividade ao Cobre a 50 °C, 3h, máx.	-	1				14359	D130
Teor de Enxofre, máx. (10)(14)	mg/kg	-	50	-	50	- - - - -	D2622 D3120 D5453 D6920 D7039 D7220
Benzeno, máx. (15)(16)	% volume	-	1,0	-	1,0	15289 15441	D3606 D5443 D6277 D6729 D6730
Teor de Silício	mg/kg	Anotar				-	D7757
Hidrocarbonetos: (15)(17)						14932	D1319
Aromáticos, máx.	% volume	-	35	-	35		
Olefinicos, máx.		-	25	-	25		
Saturados		Anotar					
Teor de Metanol, máx (18)(19)	% volume	0,5				16041	-
Chumbo, máx. (18)	g/L	0,005				-	D3237 D5059
Fósforo, máx. (18)	mg/L	1,3				-	D3231

Fonte: Manual da Gasolina 2021 – Petrobras

4.1.4 GASOLINA (CHINESA).

A gasolina chinesa possui diferentes composições, sem padrões de mistura com etanol ou o mesmo em sua composição. Isso devido ao tamanho territorial e a capacidade de produção do país, determinada pelo governo.

Os testes realizados para os motores comercializados no Brasil fabricados na China, os fabricantes chineses utilizavam até 2019 a gasolina com a octanagem de 89 octanas, esse padrão foi abandonado em janeiro de 2020. Um novo padrão E85 (GB 35793), com 15% de etanol extraído de milho ou arroz, substituiu o anterior, essa opção já estava disponível, mas devida a baixa produção e a dificuldade de ser encontrado, não era uma opção para a região onde é fabricado o motor. Devido a essa dificuldade, a gasolina utilizada nos testes de fábrica (China) é a gasolina comum com 92 octanas.

Tabela 12: Especificações da gasolina Chinesa

Número de octanagem de pesquisa (RON) min.	89	92	95	98	GB/T 5487
Índice antidetonante (AKI), (RON+MON)/2 min.	84	87	90	93	GB/T 503, GB/T 5487
Conteúdo principal ^d , g/L max.	0.005				GB/T 8020
Destilação					GB/T 6536
10% de temperatura de evaporação, °C max.	70				
50% de temperatura de evaporação, °C max.	110				
90% de temperatura de evaporação, °C max.	190				
Ponto de ebulição final, °C max.	205				
Resíduo, % volume max.	2				GB/T 8017
Pressão de vapor, kPa					
Novembro 1º - Abril 30º	45-85				
Maio 1º - Outubro 31º	40-65 ^b				
Conteúdo de goma mg/100 ml max.					GB/T 8019
Goma não lavada (antes da adição de detergente)	30				
Goma lavada com solvente	5				
Período de indução, min.	480				GB/T 8018
Enxofre, máx.	10				GB/T 0689
Mercaptan	puro				NB/SH/T 0174
Corrosão de cobre, 3h à 50°C max.	1				GB/T 5096
Ácido e álcalis olúveis em água	não				GB/T 259
Água e sedimentos	não				Inspeção Visual: GB/T 511/GB/T 260
Benzeno, % volume max.	0.8				SH/T 0713
Aromático, % volume max.	35				GB/T 30519
Olefinas, % volume max.	Via: 18		Via/Vlb: 15		GB/T 30519
	Vlb: 15				
Oxigênio, % massa max.	2.7				NB/SH/T 0663
Metanol ^d , % massa max.	0.3				NB/SH/T 0663
Manganês ^d , g/L max.	0.002				SH/T 0711
Ferro ^d , g/L max.	0.01				SH/T 0712
Densidade a 20°C, kg/m ³	720-775				GB/T 1884, GB/T 1885

^a Províncias de Guangdong e Hainan implementam este requisito ao longo do ano.

^b Não é permitido o uso de metanol e aditivos contendo chumbo, ferro e manganês.

Fonte: <https://dieselnet.com/standards/cn/fuel.php#petro>

4.1.5 ETANOL

O etanol nacional é produzido a partir da fermentação da cana-de-açúcar e como combustível foi adicionado a primeira vez (oficialmente) à gasolina em julho de 1931, na porcentagem de 5% (máxima), (MAPA, 2014).

Em meados de 1975 com a implementação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), essa estratégia de incentivo à produção e ao consumo de etanol (combustível) no país, tinha relação direta com o aumento (variação) do preço do petróleo no mercado mundial e à necessidade crescente de importação do petróleo para atender da demanda crescente interna.

Esse incremento na produção foi até meados de 1990, com a abertura do mercado para importação de veículos, o etanol, perdeu força. A Volta como opção surgiu com os motores *flexfuel*, fornecendo a opção ao consumidor ter a escolha do combustível que utilizaria.

Conforme (PLINIO M, 2023), “em termos ambientais, o fato de o etanol de cana ser praticamente neutro em emissões de gases causadores do efeito estufa transformou-o numa das fontes de energia mais limpas para alimentar a mobilidade eficiente dos pontos de vista energético e ambiental. Pela sua elevada octanagem de 116 AKI em comparação à média da gasolina (de 87 AKI), o Brasil, com o uso de etanol em mistura com a gasolina, foi pioneiro mundial na eliminação do venenoso chumbo tetraetila, anteriormente utilizado como aditivo elevador da octanagem”.

A proposta do motor convertido a etanol é justamente esse mercado que tem dois fatores principais: 1º - preço favorável do etanol em relação ao da gasolina e por 2º - escolha do combustível e/ou o uso de energia limpa.

Para a especificação do etanol, há normas regentes para a sua definição.

De acordo com a Resolução da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis no 23 de 06/07/2010, define álcool etílico combustível como aquele destinado ao uso em motores de combustão interna de ignição por centelha possuindo como principal componente o etanol. A norma regulamenta a produção e comercialização de dois tipos de etanol, quais sejam:

- Etanol hidratado combustível de referência (EHR)
- Etanol anidro combustível de referência (EAR)

Tabela 13: Especificações do Etanol

Parâmetro	Unidade	EHR	EAR
Aspecto	–	límpido/isento	límpido/isento
Cor	–	Incolor	Incolor
Acidez total máxima	mg/L	30	30
Condutividade elétrica máxima (20°C)	µS/m	500	500
Massa específica (20°C)	Kg/m ³	807,6 a 811,0	max 791,5
Teor alcoólico	% volume	95,1 a 96,0	min 99,6
Teor alcoólico	% massa	92,6 a 93,8	99,3
pH ((20°C)	–	6,0 a 8,0	–
Teor de aldeídos	mg/L	60	60
Teor de alcoóis superiores Máximo	mg/L	500	500
Teor de ésteres máximo	mg/L	100	100
Teor de etanol mínimo	% volume	95,1	98,0
Teor de água máximo	% volume	4,9	0,4
Resíduo evaporação máximo	mg/100 mL	5	5
Teor de sulfato	mg/kg	4	4
Teor de sódio	mg/kg	2	2

Fonte: <http://www.cbbioprocesso.com.br/especificacoes-do-alcool-etilico-combustivel/>

4.2 DIESEL.

A definição do óleo diesel basicamente é: Combustível líquido derivado de petróleo, composto por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e, em menor proporção, nitrogênio, enxofre e oxigênio. O diesel comum, também conhecido como diesel fóssil, é produzido através da destilação do petróleo e é composto por uma longa cadeia de hidrocarbonetos com pontos de ebulição variando de 180 a 300 graus Celsius, contendo também traços de enxofre, oxigênio e nitrogênio em proporções menores. Esse tipo de Diesel é obtido durante a destilação intermediária do processo de craqueamento, sendo denominado de destilado intermediário, conforme mencionado por (LANE 1980).

Sua principal aplicação é em motores de combustão interna de ignição por compressão (ciclo Diesel) em veículos rodoviários, veículos agrícola, ferroviários, marítimos e em geradores de energia elétrica.

O diesel nacional automotivo basicamente se divide em duas especificações o S-10 e o S500. Esses combustíveis estão sujeitos ao acréscimo de até 15% de biodiesel em sua composição, como regulamentado pela ANP.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aprovou resolução que estabelece em 12% o teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil, a partir do mês de abril de 2023, e o aumento para 15% de forma progressiva até 2026. Esse percentual era de 10%. Com a decisão, a adição de biodiesel subirá para 12% a partir de abril deste ano 2023, 13% em abril de 2024, 14% em abril de 2025 e 15% em abril de 2026.

Para o motor usado no teste, a recomendação de fábrica é o diesel S-500, conforme o manual do usuário

Em contrapartida, tem regiões no país que há dificuldade em encontra o diesel S-500, sendo utilizado, nos motores, o diesel S-10. Devido a essa escassez em algumas regiões torna-se necessária a verificação do funcionamento do motor com injeção mecânica utilizando o diesel S-10.

4.2.1 DIESEL S-10.

O diesel S-10 é classificado como UBTE (ultrabaixo teor de enxofre) desenvolvido para motores a produzidos a partir de 2012, voltado para atender as mais modernas tecnologias dos sistemas de combustão e tratamento das emissões veiculares (de acordo com as fases do programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE L7, P7 e P8) que proporcionam maior eficiência energética e menor impacto ambiental. Esse combustível é recomendado para motores (modernos) com injeção eletrônica de diesel e sistema de tratamento utilizando Arla 32, para reduzir as emissões.

Características:

- Teor de enxofre de 10 mg/kg ou ppm, partes por milhão (máximo);
- Massa específica de 815 a 850 kg/m³ a 20°C;
- Número de cetano 48 (mínimo).

4.2.2 DIESEL S-500.

O diesel S-500 é classificado como BTE (baixo teor de enxofre) desenvolvido para motores a produzidos antes de 2012, voltado para atender as demandas dos

sistemas de combustão e tratamento das emissões veiculares mais antigos (de acordo com as fases do programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE L6, P5 e anteriores). Esse combustível é recomendado para motores (antigos) com injeção mecânica de diesel e sem o sistema de tratamento utilizando Arla 32. Os motores a diesel comercializados pela Branco Motores Ltda, possuem sistema de injeção mecânico, sendo esse (S-500) o combustível recomendado pelo fabricante.

Características:

- Teor de enxofre de 500 mg/kg ou ppm, partes por milhão (máximo);
- Massa específica de 815 a 865 kg/m³ a 20°C;
- Número de cetano 42 (mínimo).

4.2.3 DIESEL (CHINÊS)

De acordo com a informação fornecida pelo fabricante chinês dos motores, o diesel utilizado nos testes dos motores é o óleo diesel comum, S-500, sem adição de biodiesel em sua composição. Devido a essa informação, comprovou a necessidade de fazer o teste comparativo entre os dois combustíveis (nacional e chinês). Como não temos a disponibilidade do combustível chinês, o comparativo foi feito sobre a análise das curvas de potência e torque, já que o fornecedor não disponibiliza o teste de emissões para esse motor.

4.2.4 BIODIESEL

O biodiesel é uma categoria de combustíveis com oxigênio em sua composição, composta por ésteres de ácidos graxos que são obtidos a partir de fontes renováveis de origem biológica, como óleos vegetais e gorduras. Em outras palavras, trata-se de uma mistura de ésteres monoalquílicos derivados de ácidos graxos, como mencionado por (DERMIBAS 2008).

Os óleos vegetais que passaram pelo processo de transesterificação e são empregados como uma alternativa ao combustível diesel são conhecidos como biodiesel. Existe um considerável interesse na utilização de óleos vegetais para a

produção de biodiesel devido à sua menor emissão de poluentes e à sua fonte renovável, em contraste com o diesel tradicional. O biodiesel apresenta uma coloração âmbar-claro e uma viscosidade semelhante à do diesel convencional.

Existem diversas opções de matérias-primas disponíveis para a produção de biodiesel, que incluem gorduras de origem animal, como o sebo, óleos usados em frituras e, predominantemente, óleos vegetais como soja, palma, algodão, amendoim, entre outros, como mencionado por (KNOTHE, VAN GERPEN e KRAHL, 2010).

Tabela 14 – Comparação de propriedades biodiesel e diesel

Propriedades	Biodiesel	Diesel
Massa específica (kg/m ³)	860-895	840-860
Número de cetano	46-70	47-55
Ponto de névoa (K)	262-289	256-265
Ponto de fluidez (K)	258-286	237-243
Ponto de fulgor (K)	408-423	325-350
% de enxofre	0,0-0,0024	0,04-0,1
% de cinzas	0,002-0,01	0,06-0,01
Viscosidade cinemática (mm ² /s a 313K)	3,6-5	1,9-3,8
Poder calorífico Superior (MJ/kg)	39,3-39,8	45,3-46,7

Fonte: Dermibas (2008)

O óleo escolhido para o trabalho foi o de soja, para isso optou-se a fazer o biodiesel em laboratório. O processo de fabricação do biodiesel foi feito utilizando soda caustica, metanol e o óleo vegetal de soja. O procedimento consiste em utilizar um misturador, onde foram adicionados 400 ml de metanol (álcool metílico) juntamente com 7 gramas de soda cáustica convencional, diluindo-a por 3 minutos, em seguida dois litros de óleo de soja foram aquecidos a temperatura de 55° Celsius e adicionados a mistura diluída de metanol e soda. Após 50 minutos, começou a ocorrer a separação, ou seja, a formação dos dois produtos, o biodiesel e a glicerina. A mistura foi deixada em repouso por 24 horas, em um recipiente de vidro com bocal largo. Após esse tempo, a glicerina decantou, deixando o biodiesel na parte superior do recipiente. Utilizando uma bomba manual extraiu-se o biodiesel para a realização das misturas propostas para os testes. O biodiesel extraído foi filtrado (filtro metálico) para a remoção das impurezas.

A misturas propostas para Biodiesel foram a B25, B50 e a B75. A nomenclatura BXX foi introduzida no setor de biocombustíveis para denotar as proporções de biocombustíveis em uma mistura, em que "B" representa biodiesel e "XX" indica a

quantidade de biocombustível misturada ao óleo diesel. Por exemplo, a abreviação B25 indica que a mistura consiste em 25% de biodiesel e 75% de óleo Diesel comum (S-500). Portanto, as composições das misturas de biodiesel podem variar desde 100% (B100), conforme esclarecido pelo (PORTAL DO BIODIESEL, 2004).

Considerando o diesel nacional composto por 12% de biodiesel por lei, as misturas foram complementares, ou seja, na B25, foi adicionado 25% de biodiesel no diesel S-500 (que já possui 12%), na B50, foi adicionado 50% de biodiesel no diesel S-500 (que já possui 12%), na B75, foi adicionado 75% de biodiesel no diesel S-500 (que já possui 12%), para usar como referências, pois não existisse a opção de diesel comum “puro” no Brasil.

O biodiesel é amplamente aceito em motores de ignição por compressão e pode substituir parcial ou integralmente o óleo diesel derivado do petróleo. Suas vantagens incluem a redução das emissões de diversos poluentes, biodegradabilidade, excelente capacidade de lubrificação, alto ponto de fulgor e a contribuição para a redução da dependência do petróleo, uma vez que é uma fonte renovável. Por outro lado, suas desvantagens incluem um custo mais elevado, menor estabilidade quando exposto ao ar, propriedades de escoamento menos favoráveis e um aumento nas emissões de NO_x, (TEIXEIRA, 2012).

4.2.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 4

O capítulo quatro apresenta os conceitos, especificações e as normativas sobre os combustíveis testados nos motores. Assim como o processo de fabricação do biodiesel em laboratório, extraído de óleo de soja, proporcionando as misturas de biodiesel (B25, B50 e a B75) escolhidas para o escopo do trabalho.

A marca Petrobrás foi a escolhida para a aquisição dos combustíveis nacionais, com o objetivo de comparar os resultados dos testes dos motores usando os combustíveis nacionais com os dados fornecidos pelo fabricante chinês, utilizando combustíveis chineses.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destina-se à apresentação dos métodos de testes realizados nos motores, de acordo com a ordem de apresentação do layout para o teste, o dinamômetro, os motores, os dados fornecidos pelo fabricante e os cálculos da capacidade cúbica e a taxa de compressão. Todos os testes seguiram a norma padrão *SAE J-1995 – ENGINE POWER TEST CODE – SPARK IGNITION AND COMPRESSION IGNITION – GROSS POWER RATION (SAE INTERNATIONAL)*, onde as curvas de potência e de torque referem-se ao desempenho dos motores expostos a uma altitude de 0 metros, uma pressão de 766mmHg(1,0atm) e a uma temperatura de 15,6°C de acordo com a norma.

As condições de teste, obteve-se as curvas de potência e de torque referem-se ao desempenho dos motores expostos a uma altitude de 897 metros (cidade de Araucária – Paraná), uma pressão atmosférica de 681mmHg (0,896atm) e a uma temperatura média de 15,6°C (máxima de 20°C e mínima de 14°C).

A pressão atmosférica foi aferida com o barômetro digital Texto-0511.

Tabela 15 – Especificações do Barômetro

Faixa de medição	300 a 1200hPa
Exatidão	±3 hPa ± 1 Dígito
Resolução	0,1 hPa
Taxa de medição	0,5s
Unidades selecionáveis	hPa, mbar, Pa, mmH2O, inH2O, inHg, mmHg, psi

Fonte: O Autor

Obs. O valor de altitude foi corrigido para 0 m conforme norma.

5.1 LAYOUT CRIADO PARA O TESTE DOS MOTORES

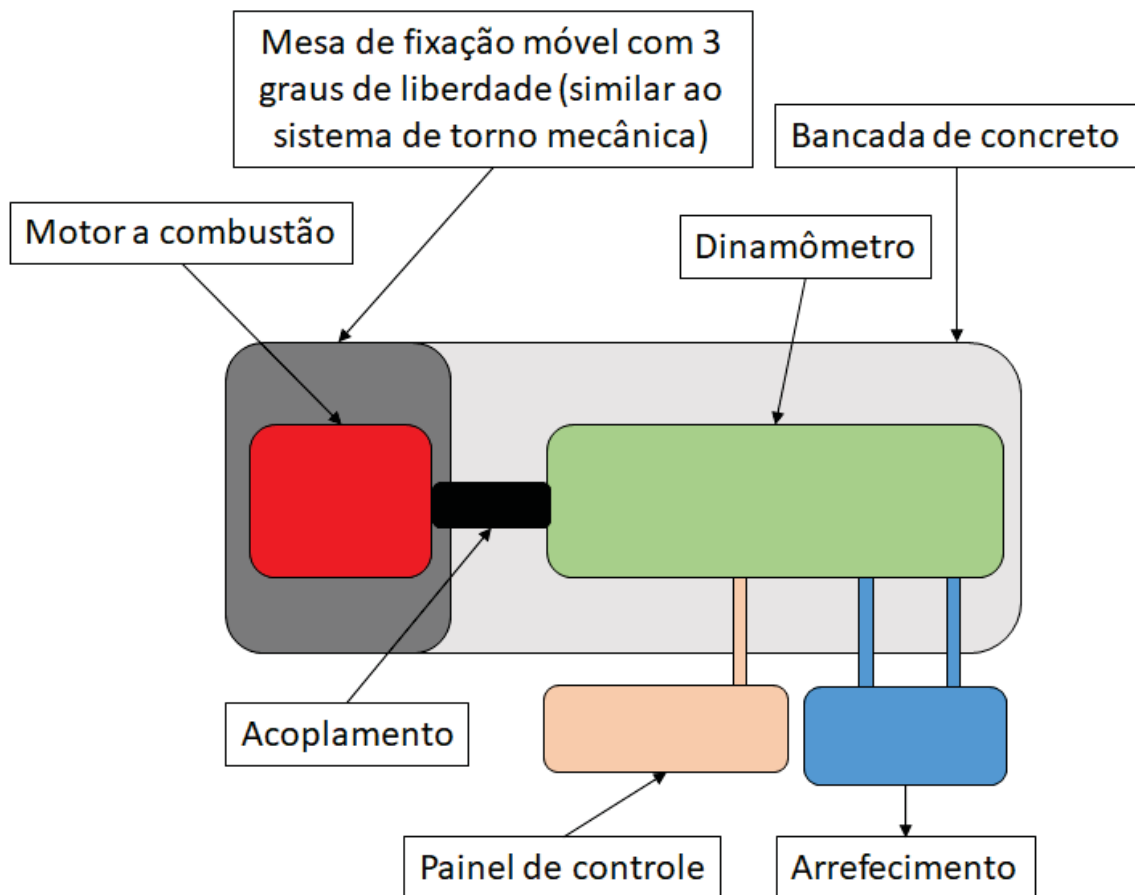
A realização dos testes exige o uso de uma variedade de equipamentos que fazem parte do conjunto. Esse conjunto é formado por um motor a combustão, uma base de fixação móvel para o motor, um dinamômetro e um painel de controle para o dinamômetro.

Os testes ocorreram no laboratório as empresas Branco Motores Ltda. Os diferentes sistemas foram dispostos de forma a simplificar a manutenção e a supervisão do experimento. A mesa de fixação móvel mantém o dinamômetro estável e funciona como ponto de referência para os outros elementos.

O motor é fixado na mesa móvel do dinamômetro, adjacente ao eixo do freio, que possui grau de liberdade de rotação ao eixo do dinamômetro. O motor é alinhado e acoplado por um sistema de castanha (utilizado em torno mecânico para fixação e peças a serem usinadas) ao eixo do dinamômetro.

Adicionalmente, o dinamômetro opera em conjunto com um sistema de refrigeração, composto por um reservatório de água que é bombeada para circular dentro do dinamômetro, fazendo o arrefecimento. O equipamento possui um painel de controle que monitora a rotação do eixo do dinamômetro, valores de torque, valores de potência e carga aplicada durante os testes (havia mais funções no equipamento que não foram utilizadas).

Figura 12 – Layout do dinamômetro

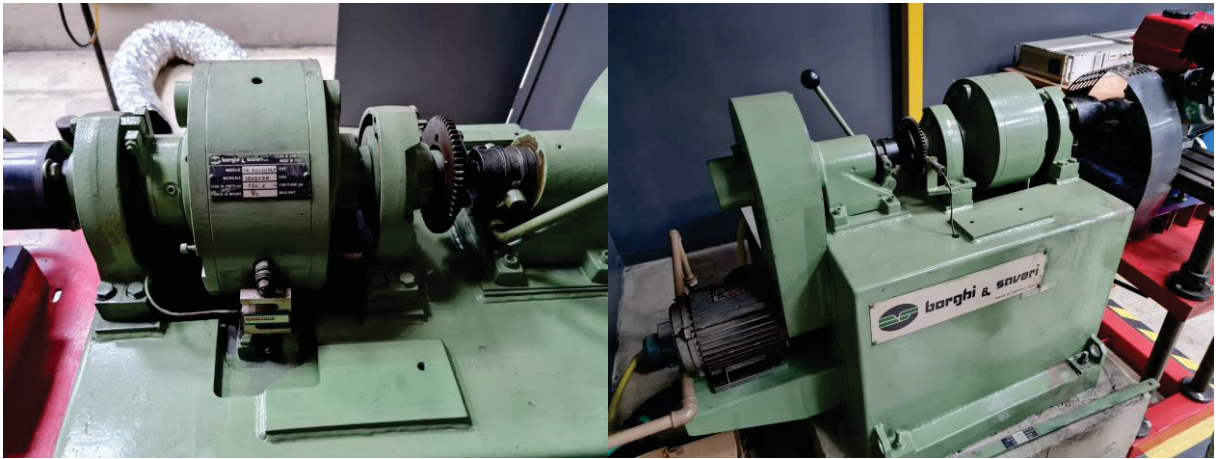


Fonte: O autor

5.2 DINAMÔMETRO

Para a aplicação de carga no eixo do motor utilizou-se um dinamômetro do tipo corrente de Foucault. O equipamento utilizado é da marca italiana Borghi&Saveri, modelo FA 20/30SLV, ano 1992.

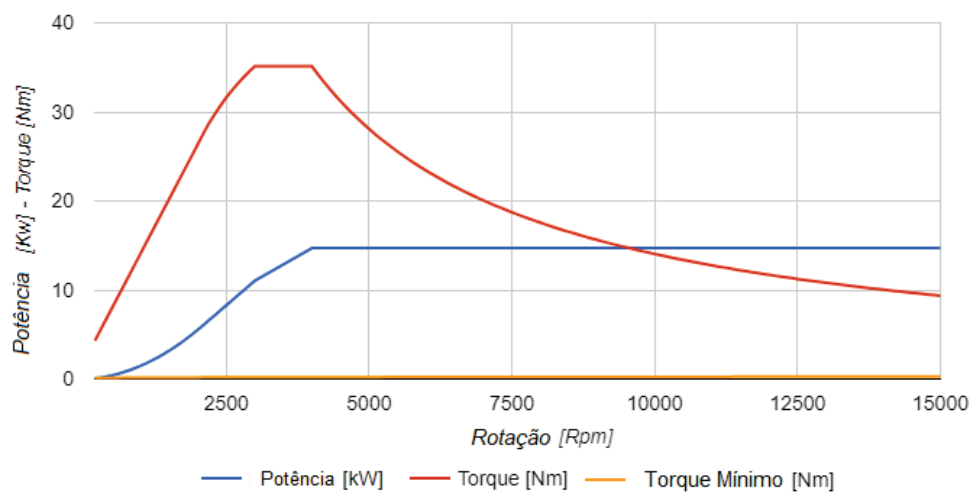
Figura 13 – Dinamômetro Borgui&Saveri



Fonte: O autor

O modelo é um dinamômetro de freio por correntes parasitas de rotor único, ideal para testar motores com potência de até 14,7 kW (19,713 hp). Esse modelo não possui nenhum mecanismo antivibração.

Gráfico 7 – Curvas do dinamômetro Borgui&Saveri



Fonte: www.borguisaviri.it

Tabela 16 – Valores de referência do dinamômetro Borgui&Saveri

Características metrológicas do dinamômetro	
Tensão de alimentação	220 V +10 V /-15 V
Corrente máxima absorvida	12A
Frequência	50Hz - 60 Hz
Absorção de potência máxima	2,5kW
Faixa de temperatura operacional	0 a 40°C
Umidade máxima	0 a 90% não condensado
Velocidade máxima [rpm]	15.000
Potência máxima [CV]	14,7
Potência máxima [kW]	20
Torque máximo [N.m]	35
Inércia [kgm ²]	0,0072

Fonte: www.borguisaviri.it

5.2.1 PAINEL DE CONTROLE BCU (*BRAKE-CONTROL-UNIT*)

Diferentes tipos de dinamômetros podem ser gerenciados, graças à capacidade de controlar os atuadores utilizados na arquitetura específica, através de algoritmos de controle parametrizados.

Esse modelo de dinamômetro é controlado por um painel de controle que gerencia os parâmetros relativos ao controle da unidade de frenagem, que são acessíveis através do painel físico da BCU (Unidade de Controle do Freio).

Figura 14 – Painel de controle do dinamômetro Borgui&Saveri



Fonte: O autor

Através deste painel é possível:

- Monitorar e selecionar os principais parâmetros, ou seja, velocidade(rotação), torque e potência;

Figura 15 – Tela de monitoramento



Fonte: O autor

- Regular as condições dos freios (selecionar os parâmetros de acionamento do freio, unidades, intensidade, entre outros. Há a opção de programas pré determinados pelo modulo de controle, o programa selecionado para o teste é o Mn².

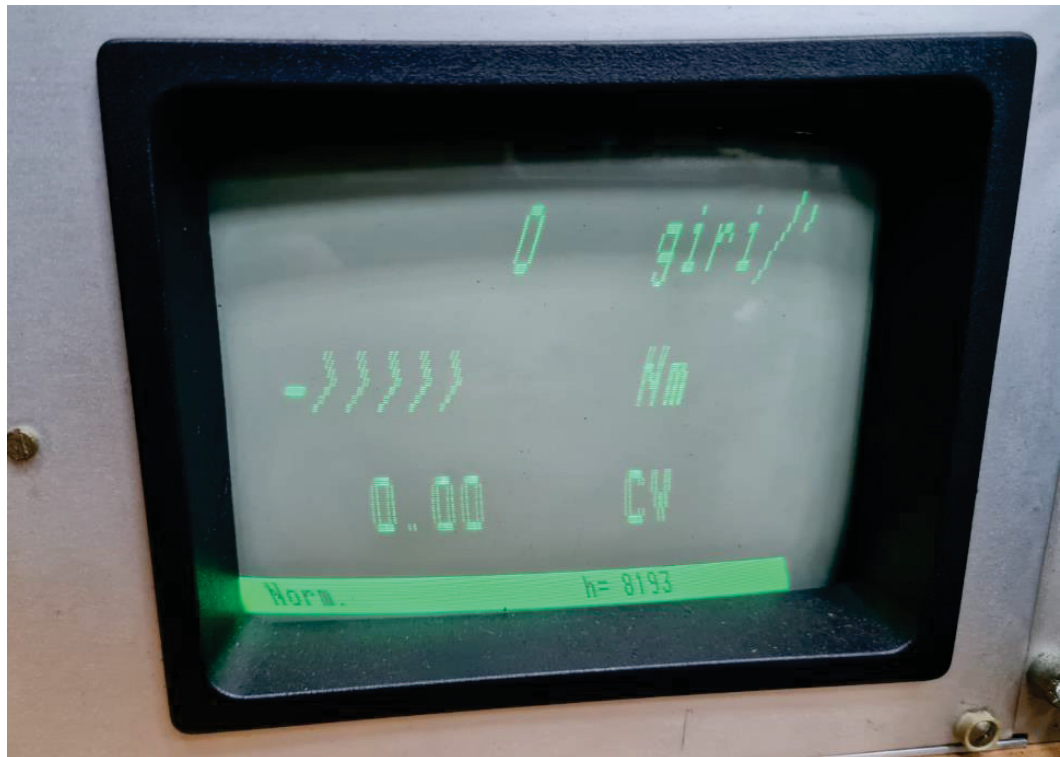
Figura 16 – Painel de seleção de parâmetros



Fonte: O autor

A tela mostra em tempo real os parâmetros selecionados para a execução do teste, no caso os parâmetros foram: Torque (N.m), Potência(cv) e Rotação(rpm), como o equipamento é italiano, na tela aparece *giri*(rotação).

Figura 17 – Tela para acompanhamento em tempo real



Fonte: O autor

5.2.2 MESA DE FIXAÇÃO DO MOTOR

A mesa de fixação do dinamômetro do laboratório da Branco Motores Ltda., foi projetado para o acoplamento de diversos tipos de motores, tanto quanto a combustão, quanto elétricos. A mesa é um dispositivo que permite variação nas posições nos 3 eixos (X, Y e Z), mas não possui um sistema de travas de segurança.

O dispositivo está instalado diretamente no piso da sala de testes, que foi construída de forma isolado do prédio, para ter um melhor isolamento em relação as vibrações externas, oriundas da movimentações externas. Para o trabalho não foi aferido o nível de vibração da sala, simplesmente por não ter o equipamento para tal aferição.

Figura 18 – Mesa de fixação do motor

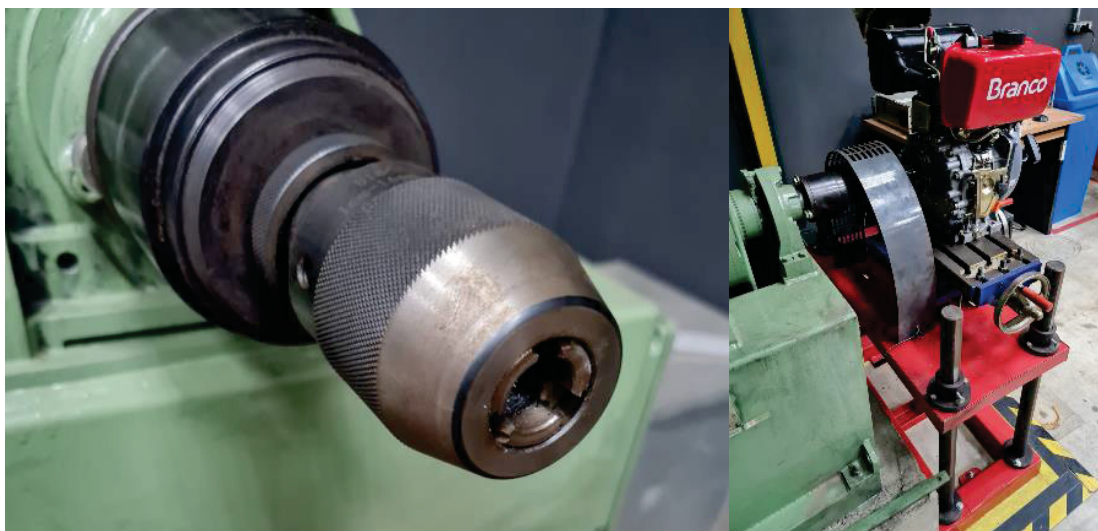


Fonte: O autor

5.2.3 ACOPLAMENTO DO EIXO DO MOTOR

O dinamômetro possui um sistema de acoplamento do eixo virabrequim por castanha, o mesmo utilizado em torno mecânico, devido a sua maior segurança e por apresentar maior flexibilidade em relação aos diferentes diâmetros dos eixos dos motores a serem acoplados. Não há um sistema de compensação de desalinhamento do eixo. Há uma capa metálica protetora fixada na mesa móvel para a proteção contra rompimento ou lançamento de partes em caso de colapso do sistema de fixação do próprio eixo, como por exemplo o rompimento da chaveta de conexão.

Figura 19 – Castanha de fixação do eixo



Fonte: O autor

5.2.4 SISTEMA DE ARREFECIMENTO DO DINAMÔMETRO

O freio do dinamômetro gera uma grande dissipação de calor, por isso possui um sistema de arrefecimento para evitar o superaquecimento das peças do conjunto, prevenindo contra desgaste e até a falha. O sistema de arrefecimento é composto por um reservatório de água, uma bomba d'água e mangueiras. Para um melhor desempenho do sistema, adicionou-se um ventilador doméstico para realizar uma ventilação forçada sobre o motor.

Figura 20 – Sistema de arrefecimento do dinamômetro

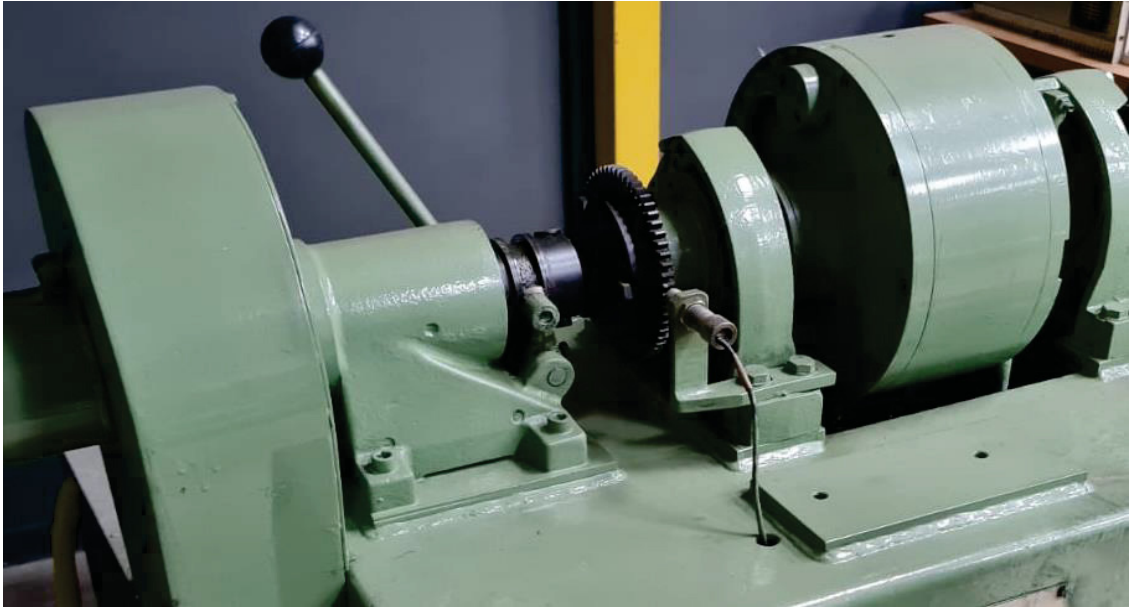


Fonte: O autor

5.2.5 MEDIDOR DE ROTAÇÃO

O sensor de rotação do tipo indutivo funciona a partir de uma roda fônica, toda vez que um dente passa pelo indutivo, gera uma variação da tensão, gerando então uma onda senoidal, com certa frequência que está diretamente relacionada com a frequência de rotação do eixo do dinamômetro. A alavanca mostrada na figura 21, serve para o acoplamento do dinamômetro. Nesse modelo o motor elétrico de partida está sempre conectado.

Figura 21 – Sistema de medição e rotação



Fonte: O autor

Com o intuito de verificar a rotação indicada pelo sensor do dinamômetro, foi necessário medir a rotação de cada um dos motores, para tal foram utilizados dois tacômetros.

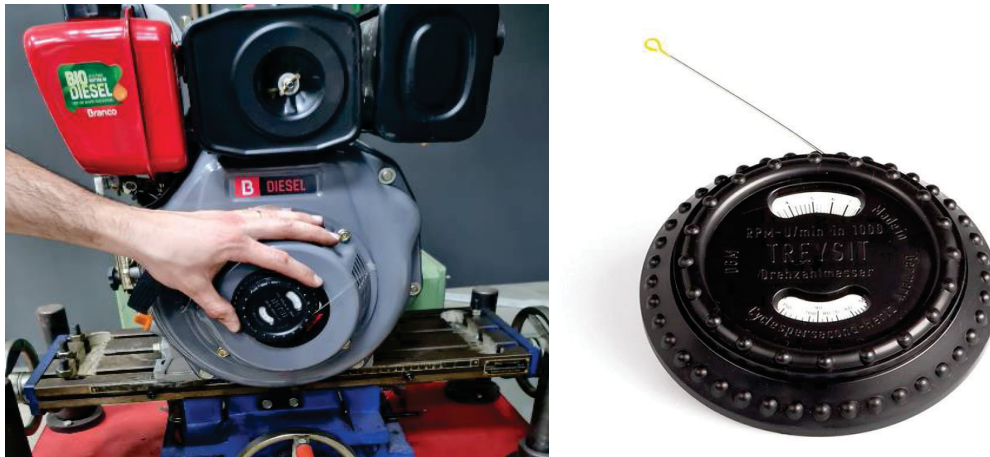
Figura 22 – Tacômetro ciclo Otto



Fonte: O autor

Para o motor de ignição por centelha (ciclo Otto), a rotação foi aferida por meio de um tacômetro digital, conectado ao cabo vela.

Figura 23 – Tacômetro ciclo Diesel



Fonte: O autor

Para o motor de ignição por compressão (ciclo Diesel), a rotação foi aferida por meio de um tacômetro analógico, que funciona por vibração, colocado sobre a partida retrátil do motor.

5.3 NORMA SAE J1995 E SAE J1940 - PARÂMETROS DE OTESTES

Seguindo a norma SAE, a classificação de desempenho bruto ou máximo (*GROSS*) para potência e torque para modelos de motores a combustão interna com capacidade cúbica inferior a 1000 cm³ (ignição por centelha e ignição por compressão) é rotulada de acordo com o código SAE (*Society of Automotive Engineers*) J1940 (Revisão 2012-10) *Small Engine Power & Torque Rating Procedure*, e o desempenho líquido ou nominal (*NET*) para potência e torque são obtidos e corrigidos de acordo com SAE J1995 (Revisão 2002-05). A medição de torque é obtida a rotação de 3.060 RPM; as classificações de potência são derivadas a rotações de 3600 RPM, de acordo com a norma.

Nota: Os valores de potência e torque líquidos ou nominais (desempenho contínuo) são obtidos com a descarga e o filtro de ar instalados (motor completo), enquanto os valores de potência e torque brutos ou máximos são coletados sem esses acessórios, onde é retirada a descarga e o filtro de ar. A potência bruta (*GROSS*) ou máxima real do motor será superior à potência líquida (*NET*) ou nominal do motor e é

afetada, entre outras coisas, pelas condições ambientais de operação e pela variabilidade entre motores.

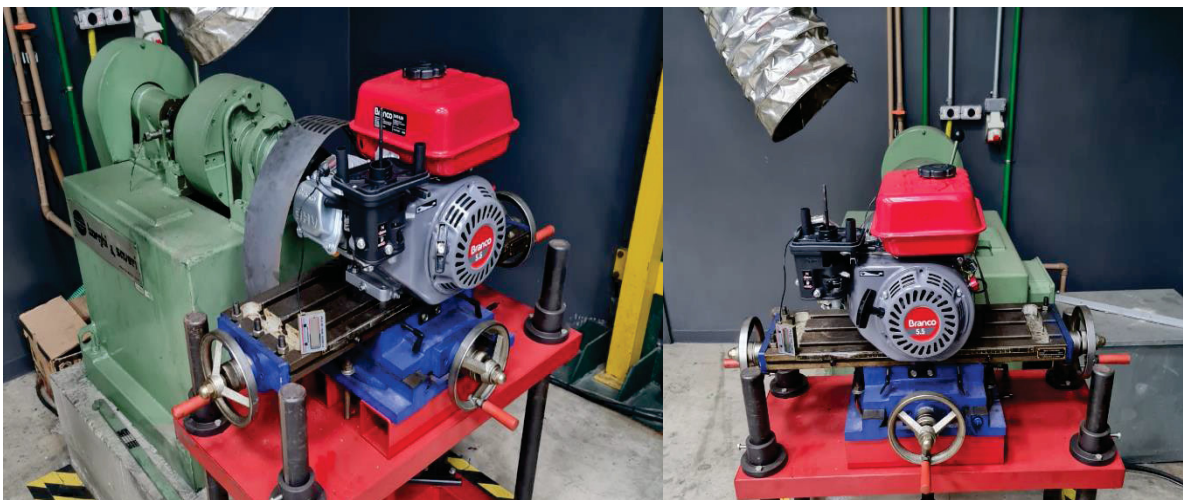
Para os testes realizados a gama de rotação para a elaboração das curvas foi de 2000 rpm até 3600 rpm, para ambos os motores. A variação para levantamento de dados foi a cada acréscimo de 200 rpm, para cada tipo de combustível testado foram feitas 9 medições realizadas, começando a 2000 rpm, subindo 200 rpm a cada medição até chegar a 3600 rpm.

Figura 24 – Motor ciclo Otto B4T-5.5 com filtro de ar e descarga instalados



Fonte: O autor

Figura 25 – Motor ciclo Otto B4T-5.5 sem filtro de ar e descarga instalados



Fonte: O autor

O motor ciclo Otto foi testado com cinco combustíveis, gasolina comum, gasolina aditivada, gasolina podium® e um etanol (etano comum).

Todos os combustíveis foram adquiridos dos postos Petrobrás.

Figura 26 – Motor ciclo Diesel BD-5.0 com filtro de ar e descarga instalados



Fonte: O autor

Figura 27 – Motor ciclo Diesel BD-5.0 sem filtro de ar e descarga instalados



Fonte: O autor

O motor ciclo Diesel foi testado com cinco tipos de diesel e biodiesel. Os dois tipos de diesel (S-10 e S-500) foram obtidos nos postos Petrobrás. O biodiesel foi feito no laboratório, extraído de óleo vegetal de soja, para compor as três misturas: B25 (75% Diesel S-500 com 25% de biodiesel); B50 (50% Diesel S-500 com 50% de biodiesel) e B75 (25% Diesel S-500 com 75% de biodiesel).

Nota: Os motores são classificados como estacionários, sendo assim a rotação de trabalho é fixa, sendo determinada pelo projeto do motor a 3600 rpm. Por esse motivo o limite do teste para a rotação máxima foi de 3600 rpm.


5.4 MOTOR A GASOLINA | ETANOL – B4T-5,5H

Motor B4T-5.5H (90315930M | 90313430) – Partida manual - sem sensor alerta de óleo: (CATÁLOGO DE PRODUTOS 2023 – BRANCO MOTORES LTDA.).

Os dados informados pela ficha técnica (figura 16) da fábrica como, curva de potência, curva de torque e capacidade cúbica serão verificados a seguir.

Figura 28 - Ficha técnica do motor B4T-5.5H (90315930M | 90313430) – Partida manual - sem sensor alerta de óleo:

FICHA TÉCNICA

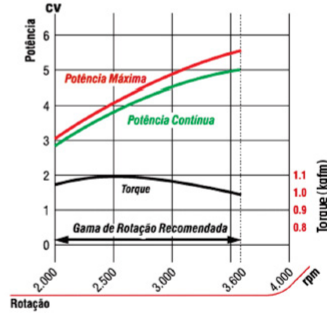





MOTOR A GASOLINA
B4T-5.5H
CÓDIGO: 90313430

DADOS TÉCNICOS		DIFERENCIAIS	
Motor:	Horizontal - 4 Tempos	▶ Possui descompressor automático	
Potência Máxima do motor:	5,5 cv @3600 rpm	▶ Tecnologia ECO	
Potência Nominal do motor:	5,0 cv @3600 rpm	▶ Partida fácil	
Toque Máximo:	1,1 kgfm @2500rpm		
Cilindros:	Monocilíndrico		
Cilindradas:	163 cc	ACESSÓRIOS	
Diâmetro x Curso:	68x45 mm	▶ 01 - Manual	
Combustível:	Gasolina	▶ 01 - Kit ferramentas	
Taxa de compressão:	10,6:1		
Ignição:	Eletrônica	CURVA DE RENDIMENTO	
Rotação Máxima	3600 rpm		
Controle de rotação:	RAR		
Capacidade do tanque máxima:	3,7 L		
Capacidade do tanque recomendado:	3,2 L		
Capacidade do tanque de óleo:	0,6 L		
Óleo recomendado:	20W50		
Sistema de partida:	Manual		
Tipo do filtro de ar:	Espuma		
Lubrificação:	Salpico		
Sensor de óleo:	Sem alerta		
Tipo do eixo:	Chavetado		
Diâmetro do eixo:	3/4" (19,05 ± 0,05 mm)		
Comprimento do eixo:	58,5 ± 0,1 mm		
Consumo médio:	1,35 L/h		

DADOS LOGÍSTICOS

Dimensão (Embalagem) CxLxA:	395x 330 x 340 mm
Dimensão (Produto) CxLxA:	310 x 355 x 325 mm
Peso Líquido/Bruto:	14,6 kg / 16,0 kg
Garantia:	6 meses
Código EAN13:	7898515042508



Versão 01. Branco Motores / Briggs & Stratton Corporation

Fonte: Branco Motores

5.4.1 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A GASOLINA

Cálculo da capacidade cúbica do motor (cilindrada). Dados retirados da ficha técnica do motor. O motor foi desmontado para efetuar as medições de volume.

Sendo:

- $r=3,4$ cm;
- $h=4,5$ cm;
- $n=1$.

$$C = \pi \times 3,4^2 \times 4,5 \times 1 = 163\text{cm}^3$$

Equação(9)

O cálculo considera os demais volumes da câmara de combustão: câmara de combustão do cabeçote, câmara de combustão do pistão e a junta do cabeçote.

Figura 29 – Cabeçote B4T 5.5H



Fonte: Branco Motores

Observação: O volume da câmara de combustão foi aferido utilizando óleo 20W50 em laboratório, para evitar oxidação dos componentes. Após a obtenção do valor foi feita a conversão do volume de óleo para água para ter a mesma unidade de volume.

O material da junta do cabeçote (código da peça 13100560) é de composição metálica, com espessura de $0,5\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$ – Valor considerado para cálculo do volume é de 0,5mm.

Figura 30 – Junta do cabeçote B4T 5.5H



Fonte: Branco Motores

$$V_T = V_c + V_j + V_{cp}$$

Equação(2)

Sendo:

- $V_c = 17,0 \text{ cm}^3$ (volume da câmara de combustão do cabeçote);
- $V_j = 1,81 \text{ cm}^3$ (volume da junta do cabeçote metálica);
- $V_{cp} = 2,89 \text{ cm}^3$ (volume da câmara de combustão do pistão - ressalto negativo do pistão);
- $V_T = 21,7 \text{ cm}^3$.

Figura 31 – ressalto negativo do pistão B4T 5.5H



Fonte: Branco Motores

$$T_c = \frac{163 + 21,7}{21,7} = 8,5$$

Equação(10)

A taxa de compressão volumétrica para o motor a gasolina é de 8,5:1, conforme indicado na ficha técnica do motor.

5.5 ALTERAÇÕES REALIZADAS NO MOTOR A GASOLINA PARA A CONVERSÃO PARA ETANOL.

Para realizar a conversão do motor a gasolina para etanol, foram necessárias alterações mínimas no projeto original, pois a ideia central é manter a similaridade com o motor a combustão a gasolina.

Com base em um estudo empírico realizado na empresa, as alterações ocorreram em basicamente em três peças: cabeçote do motor, volante magnético e no coletor de admissão.

- O volante magnético sofreu alteração no ponto, (posição da chaveta) alterando o momento de geração da centelha da bobina de ignição, sendo adiantados 10 graus em relação ao ponto original do motor a gasolina;
- O cabeçote foi retificado, sendo rebaixado em 1,2mm, para aumentar a compressão para 12:1, necessária para a queima do etanol;
- Abertura de um orifício no coletor de admissão, para a instalação do sistema de partida a frio, ou seja, de uma mangueira com uma seringa, para a injeção de aproximadamente 1ml de gasolina para dar a partida a frio (similar ao tanque de partida a frio, mas aqui representado dessa forma)

5.5.1 APERFEIÇOAMENTO DO SISTEMA DE PARTIDA A FRIO PARA O MOTOR A ETANOL.

A melhoria proposta para aperfeiçoar o sistema de partida frio, consiste em alterar o coletor de admissão para a instalação de uma vela de ignição, onde aciona uma resistência, trabalhando com o sistema de aquecimento do coletor (trabalhando como uma pré-câmara de admissão), nesse caso o motor não teria o tanque de partida a frio para gasolina. E uma derivação a mais no chicote elétrico para a vela de ignição da pré-câmara.

Observação: O motor testado, não teve tempo para aperfeiçoar a proposta da vela de ignição, sendo utilizada uma seringa com gasolina para simular o sistema de partida a frio.

5.5.2 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A ETANOL.

Cálculo da capacidade cúbica do motor (cilindrada). Dados retirados da ficha técnica do motor.

Sendo:

- $r=3,4$ cm;
- $h=4,5$ cm;
- $n=1$.

$$C = \pi \times 3,4^2 \times 4,5 \times 1 = 163\text{cm}^3$$

Equação(9)

Cálculo considerando os demais volumes da câmara de combustão: câmara de combustão do cabeçote, câmara de combustão do pistão e a junta do cabeçote.

Figura 32 – Cabeçote B4T 5.5H (usinado)



Fonte: Branco Motores

Observação: O cabeçote foi usinado, sendo retirado 1,2mm da sua altura, resultando em um volume da câmara de combustão inferior, diminuindo de 17cm³ para 10,11cm³. O volume da câmara de combustão foi aferido utilizando óleo 20W50 em laboratório, para evitar oxidação dos componentes. Após a obtenção do valor foi feita a conversão do volume de óleo para água para ter a mesma unidade de volume. O material da junta do cabeçote (código da peça 13100560) é de composição metálica, com espessura de 0,5mm ± 0,2mm – Valor considerado para cálculo do volume é de 0,5mm.

Figura 33 – Junta do cabeçote B4T 5.5H



Fonte: Branco Motores

$$V_T = V_c + V_j + V_{cp}$$

Equação(2)

Sendo:

- $V_c=10,11 \text{ cm}^3$ (volume da câmara de combustão do cabeçote “rebaixado”);
- $V_j=1,81 \text{ cm}^3$ (volume da junta do cabeçote metálica);
- $V_{cp}=2,89 \text{ cm}^3$ (volume da câmara de combustão do pistão - ressalto negativo do pistão);
- $V_T=14,81 \text{ cm}^3$.

Figura 34 – Ressalto do pistão B4T 5.5H



Fonte: Branco Motores

$$T_c = \frac{163+14,8}{14,8} = 12,0$$

Equação(10)

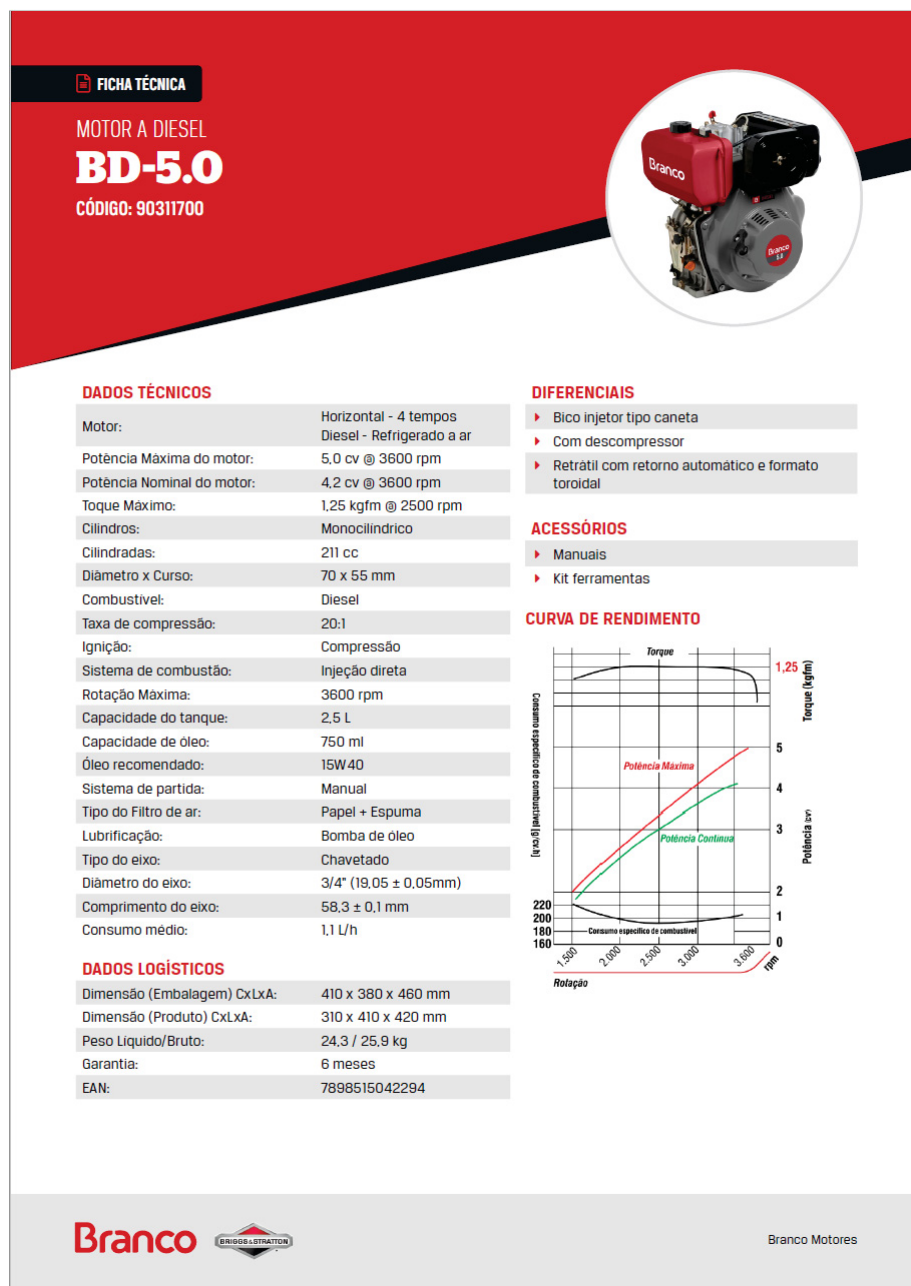
A taxa de compressão volumétrica para o motor a gasolina é de 12,0:1.

5.6 MOTOR A DIESEL | BIODIESEL - BD-5.0

Motor BD-5.0H (90311700M | 90311700) – Partida manual - sem sensor alerta de óleo. (CATÁLOGO DE PRODUTOS 2023 – BRANCO MOTORES LTDA.).

Os dados informados pela ficha técnica da fábrica como, curva de potência, curva de torque e capacidade cúbica serão verificados a seguir.

Figura 35 - Ficha técnica do motor BD-5.0H (90311700M | 90311700) – Partida manual - sem sensor alerta de óleo:



Fonte: Branco Motores

5.6.1 DEMONSTRATIVO DE CÁLCULO: MOTOR A DIESEL.

Cálculo da capacidade cúbica do motor (cilindrada). Dados retirados da ficha técnica do motor.

Sendo:

- $r=3,5$ cm
- $h=5,5$ cm
- $n=1$

$$C = \pi \times 3,5^2 \times 5,5 \times 1 = 211\text{cm}^3$$

Equação(9)

Cálculo considerando os demais volumes da câmara de combustão: câmara de combustão do cabeçote, câmara de combustão do pistão e a junta do cabeçote.

Figura 36 – Cabeçote BD 5.0H



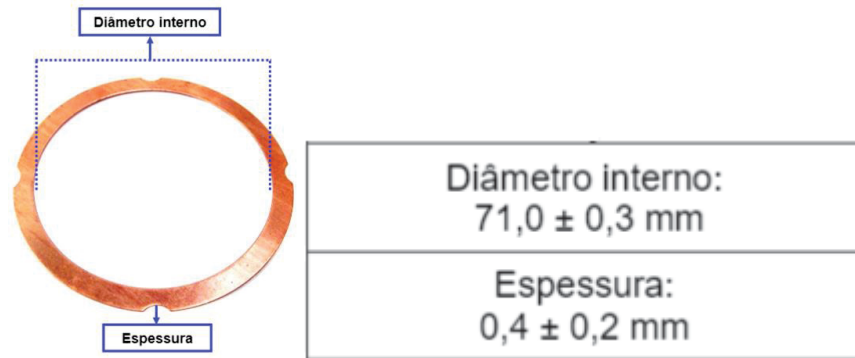
Entre centro $62,0 \pm 0.2$ mm

Fonte: Branco Motores

Observação: O volume da câmara de combustão foi aferido utilizando óleo 20W50 em laboratório, para evitar oxidação dos componentes. Após a obtenção do valor foi feita a conversão do volume de óleo para água para ter a mesma unidade de volume.

O material da junta do cabeçote (código da peça 13100270) é de composição metálica, com espessura de $0,4\text{mm} \pm 0,2\text{mm}$ – Valor considerado para cálculo do volume é de $0,5\text{mm}$.

Figura 37 – Junta do cabeçote BD 5.0H



Fonte: Branco Motores

$$V_T = V_c + V_j$$

Equação(3)

Sendo:

- $V_c = V_{cp} = 9,29 \text{ cm}^3$ (volume da câmara de combustão do pistão, no caso do motor a diesel a câmara de combustão se encontra dentro do pistão);
- $V_j = 1,81 \text{ cm}^3$ (volume da junta do cabeçote metálica);
- $V_T = 11,10 \text{ cm}^3$.

Obs: O motor diesel não apresenta ressalto no pistão, sendo reto.

Figura 38 – Câmara de combustão do pistão BD 5.0H



Fonte: Branco Motores

$$T_c = \frac{211+11,1}{11,1} = 20,0$$

Equação(10)

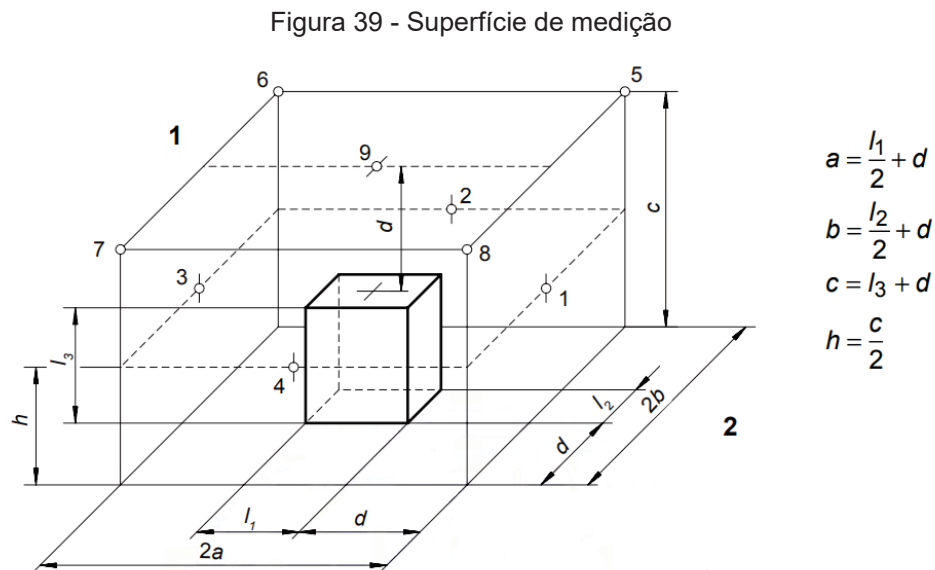
A taxa de compressão volumétrica para o motor a gasolina é de 20,0:1

5.7 NÍVEL DE RUÍDO

A norma utilizada para a aferição do nível de ruído é a ABNT NBR ISO 8528-2, Grupos geradores de corrente alternada acionados por motores alternativos de combustão interna – Parte 2: Motores Medição do ruído aéreo pelo método da superfície envolvente. Os testes realizados seguiram o padrão de referência: ISO – 3046 -1.

Devido a semelhança física (dimensional) do motor estacionário de 4 tempos com um paralelepípedo, optou-se pela utilização dessa norma (recomendação utilizada na empresa para efetuar a medição). Seguem os parâmetros para cálculo da pressão sonora e da potência sonora, de acordo com a norma selecionada.

Superfície de medição, distâncias de medição e pontos de medição.



Fonte: ABNT NBR ISO 8528-10:2014, pág. 7.

Onde:

- \odot é a posição-chave do microfone;
- $2a$ é o comprimento da superfície de medição;
- $2b$ é a largura da superfície de medição;
- c é a altura da superfície de medição;
- d distância do objeto até a superfície de medição;
- l_1 é o comprimento da caixa de referência;

- l_2 é a largura da caixa de referência;
- l_3 é a altura da caixa de referência.

Sendo que:

$$l_1 \leq d ; l_2 \leq d ; l_3 \leq d$$

5.7.1 INCERTEZAS DAS MEDIÇÕES.

Os erros aleatórios (equivocos de medição) erros tornam-se evidentes através de repetições inconsistentes e falta de reprodutibilidade. Por essa razão, é essencial realizar medições repetidas (JACOBSEN, 1997).

A medição da intensidade do sonora pode ser influenciada pelo formato do ambiente acústico onde as medições são efetuadas. Ambientes acústicos reflexivos ou de reverberação podem resultar em imprecisões nas leituras durante as medições. Em contraste, ambientes acústicos absorventes ou abertos não ocasionam imprecisões nas medições, sendo assim, o tipo de ambiente acústico recomendado para avaliações de intensidade sonora (FAHY, 1989) (CROKER e ARENAS, 2003)

5.7.2 CÁLCULO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO.

Deve ser calculada a média dos níveis de pressão sonora L_p , medidos sobre a superfície de medição, e corrigida considerando o ruído de fundo e o ambiente, utilizando as seguintes equações:

$$L_{pA} = [10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \times L_{pAi}} \right) - K_{2A}] \text{ dB} \quad \text{Equação(11)}$$

$$L_p = [10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \times L_{pi}} \right) - K_2] \text{ dB} \quad \text{Equação(12)}$$

Sendo:

- L_{pAi} é o nível de pressão sonora ponderado na escala A no ponto de medição i ;
- L_{pi} é o nível de pressão sonora de uma oitava ou de um terço de oitava no ponto de medição i ;
- L_{pA} é o nível médio de pressão sonora ponderado na escala A, em decibels, após correção do ruído de fundo e influência ambiental;
- L_p é o nível médio de pressão sonora de uma oitava ou de um terço de oitava, em decibels, após correção do ruído de fundo e influência ambiental;
- n é o número total de posições de medição.

O nível de pressão sonora de referência é de 20 μ Pa.

Os fatores de correção K_{2A} ou K_2 para a área de medição devem ser determinados utilizando-se as ISO 3744 e ISO 3746. A determinação de dois ajustes distintos: o fator de correção K_1 , que abrange a correção relativa ao ruído de fundo, e o fator de correção K_2 , que reflete a correção ambiental em função da absorção na sala.

O fator de correção do ruído de fundo K_1 ser calculado utilizando:

$$K_1 = -10 \times \log (1 - 10^{-0,1 \times \Delta L_p}) \quad \text{Equação(13)}$$

Sendo que $\Delta L_p > 15\text{dB}$, então K_1 pode ser tomado como sendo zero e, conseqüentemente, nenhuma correção para o ruído de fundo precisa ser aplicada.

O fator de correção do ambiente K_2 pode ser calculado por:

$$K_2 = 10 \times \log \left(1 + \frac{S}{A} \right) [dB] \quad \text{Equação(14)}$$

Onde S é a área da superfície de medição, em m^2 , e A é a área de absorção da sala, em m^2 , que é considerada zero, por ser um ambiente aberto.

NOTA 1: Se a faixa de L_{pi} se situar dentro de no mínimo 5dB, uma simples média aritmética pode ser utilizada. Este valor não pode diferir mais que 0,7dB do valor calculado, utilizando as equações (9) e (10).

5.7.3 ÁREA DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO, S , DIMENSÕES DA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO L_S E NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA L_W .

O formato da superfície de medição deve estar de acordo com a superfície de um paralelepípedo. A área da superfície de medição, em metros quadrados, é dada por S .

$$S = 2 \times 2ac + 2 \times 2bc + 2a \times 2b \quad \text{Equação(15)}$$

Onde:

- $2a$ é o comprimento do paralelepípedo retangular (comprimento do paralelepípedo retangular de referência (l_1) + $2 \times a$ distância de medição);
- $2b$ é a largura do paralelepípedo retangular (largura do paralelepípedo retangular de referência (l_2) $\times a$ distância de medição);
- $2c$ é a altura do paralelepípedo retangular (altura do paralelepípedo retangular de referência (l_3) a partir do piso + a distância de medição).

A área da superfície de medição pode ter uma medida aproximada. Um desvio de 5 % na área da superfície de medição resulta em um erro de 0,2 dB. As dimensões da superfície de medição L_S e o nível de potência sonora L_{WA} , ponderado na escala A, ou o nível de potência sonora de um terço de oitava $L_{W1/3}$, ou de uma oitava L_{Woct} , são calculados de acordo com as ISO 3744 e ISO 3746.

O formato da superfície de medição deve estar de acordo com a superfície de um paralelepípedo. A área da superfície de medição, em metros quadrados, é dada por S .

$$L_{WA} = L_p + 10 \times \log\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad \text{Equação(16)}$$

Sendo:

- L_{WA} é o nível de potência sonora ponderado na escala A ou das bandas de oitava em decibels;
- L_p é o nível de pressão sonora superficial; S é a área da superfície de medição, em metros quadrados;
- $S_0 = 1\text{m}^2$.

5.7.4 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EMISSÃO DA PRESSÃO SONORA.

De acordo com norma ABNT NBR ISO 8528 o nível de pressão sonora de emissão L_p é determinado baseado na norma ISO 11203. Não são necessárias medições adicionais para a determinação; L_p é calculado diretamente a partir do nível de potência sonora L_W .

$$L_p = L_W - 10 \times \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad \text{Equação(17)}$$

Onde:

- S é a área da superfície de medição que envolve a máquina (caixa/paralelepípedo de referência) a 1m de distância. $S_0 = 1\text{m}^2$.

Isto significa que L_p é o nível de pressão sonora superficial a 1m de distância.

5.7.5 MÉTODO DE REALIZAÇÃO DO TESTE.

Ao efetuar medições com um medidor de nível sonoro deve-se utilizar a unidade de medida dBA, usual para esse nicho de produtos no mercado nacional. Convém que seja selecionada, para as medições, uma característica “lenta” de ponderação no tempo do medidor de nível sonoro. Se a variação do nível de pressão sonora ponderado na escala A for menor que ± 1 dBA, o ruído deve ser considerado constante. A média entre o nível mínimo e máximo durante o período de observação deve ser utilizada como o resultado de medição. Se a variação durante o período de

observação for maior que ± 1 dBA, o ruído deve ser considerado inconstante de acordo com a ABNT NBR ISO 8528-10:2014.

Foram aferidas quatro medidas do nível de pressão sonora em ambiente externo e com o motor livre de qualquer carga. O decibélímetro foi posicionado a uma altura aproximada de 1,00m em relação ao solo e a uma distância de 7m. As medições foram realizadas em um intervalo de 10 segundos entre medidas.

A norma recomenda respeitar uma distância mínima de 50m de qualquer superfície reflexiva (paredes, muros, cercas, carros, caminhões, rodovias, estradas, entre outros, por não ter uma sala de testes com essa dimensão, as medições foram realizadas no heliporto (amplo espaço aberto e isolado) da empresa Branco Motores Ltda., em um sábado, sem movimentação. Por esse motivo, os valores das variáveis K_1 (correção do ruído de fundo) e K_2 (fator de correção do ambiente) foram considerados iguais a zero nesse caso. Para início das aferições o nível sonoro do valor de fundo deve ser inferior a 60dbA, no dia do teste a aferição foi de 55dBA.

Nos testes realizados foi utilizado um decibélímetro digital RadioShack 33-2055.

Figura 40 – Medidor de nível sonoro – RadioShack 33-2055



Fonte: – O autor.

A unidade de medida selecionada para os testes foi a dBA, usual para testes em motores, assim como o tempo de resposta *slow*.

Figura 41 – Unidade padrão de teste o decibelímetro.



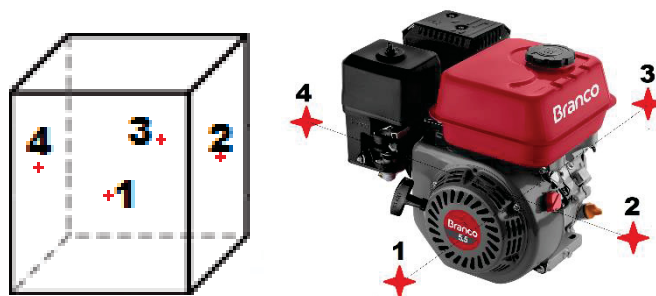
Fonte: – O autor.

Incerteza de medição do equipamento: Faixa de uso: 50 dB a 114 dB, Referência: 0 dB = 0,00002 Micro Bar e a incerteza: +/- 2dB em 114 dB SPL, conforme manual do equipamento RadioShack 33-2055.

5.7.6 TESTE DE NÍVEL DE RUIDO DO MOTOR 4 TEMPOS CICLO OTTO

Foram realizados quatro testes de aferição do nível de ruído de acordo com os pontos centrais das quatro laterais do motor (paralelepípedo), conforme a figura 16.

Figura 42: Pontos de medições realizadas



Fonte: O autor.

O motor foi instalado sob coxins em uma bancada móvel, para sua fixação com altura de 0.9m em relação ao solo.

Para os testes de nível de ruído do motor ciclo Otto foram utilizados os quatro tipos de combustíveis propostos no trabalho (gasolina comum, gasolina aditivada, gasolina podium® e etanol).

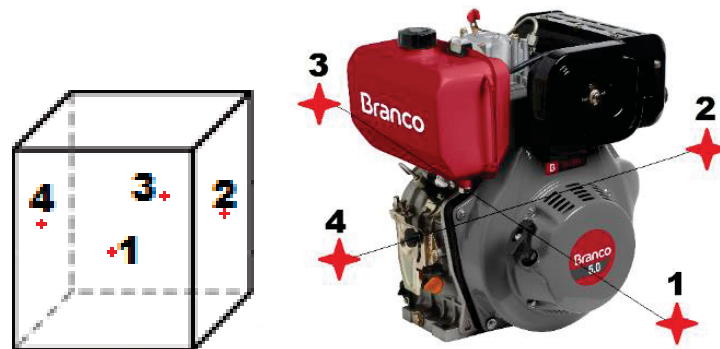
O teste consiste basicamente em três etapas:

- A determinação da superfície de medição S ;
- A determinação da pressão sonora L_{pA} ;
- A determinação da potência sonora L_{WA} .

5.7.7 TESTE DE NÍVEL DE RUÍDO DO MOTOR 4 TEMPOS CICLO DIESEL

Foram realizados cinco testes de aferição do nível de ruído de acordo com os pontos centrais das quatro laterais do motor (paralelepípedo), conforme a figura 17.

Figura 43: Pontos de medições realizadas



Fonte: O autor.

O motor foi instalado sob coxins em uma bancada móvel, para sua fixação com altura de 0.9m em relação ao solo.

Nota: O motor ciclo Diesel possui a saída de descarga do escapamento para o lado esquerdo (como referência para a direção a tomada de força ou ponta do eixo virabrequim). Diferente do motor ciclo Otto, que possui a saída de descarga do escapamento para o lado direito (como referência para a direção a tomada de força ou ponta do eixo virabrequim). Esta explanação serve para não gerar dúvidas na compreensão dos valores dos resultados obtido nos testes.

Para os testes de nível de ruído do motor ciclo Diesel foram utilizados os cinco tipos de combustíveis propostos no trabalho (diesel S-500, diesel S-10, biodiesel 25%, biodiesel 50% e biodiesel 75%).

O teste consiste basicamente em três etapas:

- A determinação da superfície de medição S ;
- A determinação da pressão sonora L_{pA} ;

- A determinação da potência sonora L_{WA} .

5.8 NÍVEL DE EMISSÕES DE CO E NO_x

Nos testes realizados para as medições de CO (monóxido de carbono) e NO_x (Óxidos de Nitrogênio) foi utilizado o analisador de gás de combustão, Madur GA-12, fornecido pelo laboratório de máquinas térmicas da UFPR.

Figura 44 – Analisador de gás de combustão – Madur GA-12



Fonte: O autor.

Os motores para o teste de emissão de CO e de NO_x, que utilizam a unidade de medida ppm (partícula por milhão), foram testados na rotação máxima de 3600rpm, com carga máxima, simulando a condição de trabalho mais severa possível para o motor. Para a medição o motor operou por 4 minutos sem carga, para atingir a temperatura de funcionamento e em seguida adicionado a carga, foram feitas 3 medições para cada combustível proposto no trabalho. Os resultados estão separados em dois grupos, motor ciclo Otto e motor ciclo Diesel.

Figura 45 – Tela de testes Otto/Diesel – Madur GA-12



Fonte: O autor.

Tabela 17 – Incerteza de medição – Madur GA-12

Método Eletroquímico	Faixa Resolução	Incerteza	Tempo
O ₂ - Oxigênio	20,95% 0,01%	± 0,2% abs. or 5% rel.	45 s
CO - Monóxido de Carbono	2 000 ppm 0,1 ppm	± 5 ppm abs. or 5% rel.	45 s
NO - Monóxido de Nitrogênio	2 000 ppm 0,1 ppm	± 5 ppm abs. or 5% rel.	70 s
NO ₂ - Dióxido de Nitrogênio	1 000 ppm 0,1 ppm	± 5 ppm abs. or 5% rel.	45 s

Fonte: GA12p Manual

A norma referência para os testes foi a NBR 5484 (Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão - ciclo Diesel - e por centelha - ciclo Otto - de velocidade angular variável), atualmente já está em desatualizada, por esse motivo as medições foram feitas somente o medidor Madur GA-12

As emissões são oriundas da queima do combustível e podem ser classificadas como completa ou incompleta. A combustão completa (total) implica que a quantidade de ar introduzida no sistema tenha fornecido oxigênio em quantidade adequada para que todo o combustível seja completamente queimado, resultando na formação dos produtos da reação: dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O) e nitrogênio (N₂), conforme expresso na equação (18) a seguir:



Os gases liberados pelos motores de combustão interna na saída incluem diversas substâncias poluentes, tais como óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de nitrogênio(NO), dióxido de nitrogênio(NO₂), monóxido de carbono(CO) e hidrocarbonetos(HC) provenientes de reações de combustão incompleta. A eficácia da combustão em si e a fonte/qualidade do combustível empregado podem afetar a quantidade dessas substâncias, conforme indicado na equação (19).



No caso de motores a combustão interna, a produção de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) pode ser afetada pela proporção de mistura ar-combustível, que é comumente referida como a região de mistura pobre ou rica do combustível.

Diversos compostos nitrogenados são produzidos durante a operação de um motor a combustão, notavelmente o NO e o NO₂, que têm impactos negativos na saúde pública e no ecossistema. A formação de óxidos de nitrogênio (NO_x) no motor não depende apenas do processo de combustão, mas também de fatores como a disponibilidade de oxigênio, temperaturas elevadas e a carga do motor (LOPES, 2014). As características dos combustíveis podem exercer influência nas emissões desses compostos assim como a quantidade de O₂ (Oxigênio) e a temperatura também exercem influência.

5.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 5

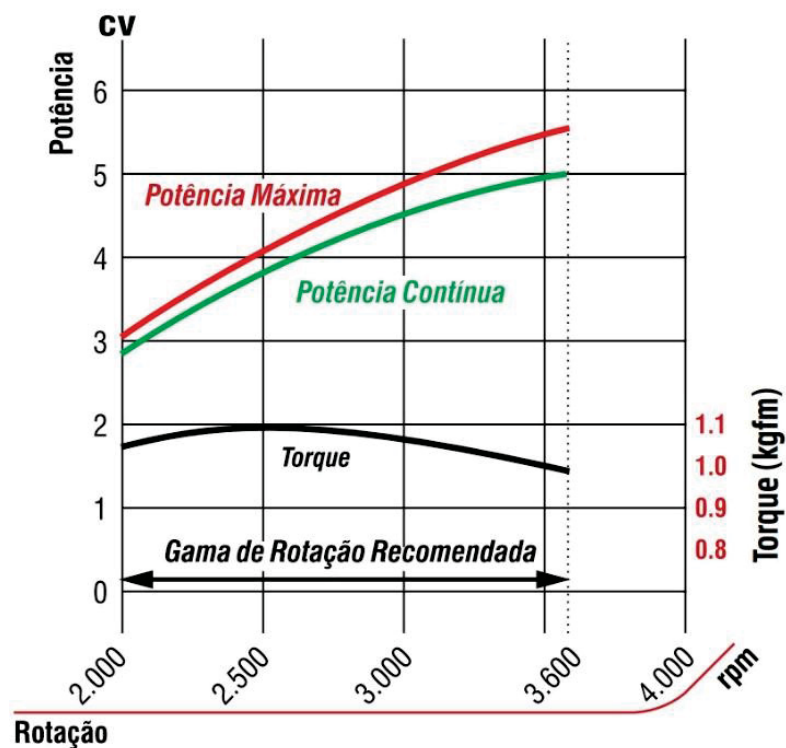
Neste capítulo foram apresentados os tópicos seguindo a ordem: o dinamômetro e seu princípio de funcionamento; as normas e os métodos para a realização dos testes dos motores; cálculos da capacidade cúbica e taxa de compressão dos motores; as alterações realizadas para conversão do motor ciclo Otto para o etanol, assim como os parâmetros para a aferição do nível de ruído (pressão sonora e a potência sonora) e os parâmetros para as medições das emissões dos motores testados com os combustíveis propostos.

6 RESULTADOS

6.1.1 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DO MOTOR A GASOLINA

O gráfico fornecido pelo fabricante do motor informa os valores obtidos utilizando gasolina pura (combustível chinês).

Gráfico 8 - Potência/Torque B4T 5.5H



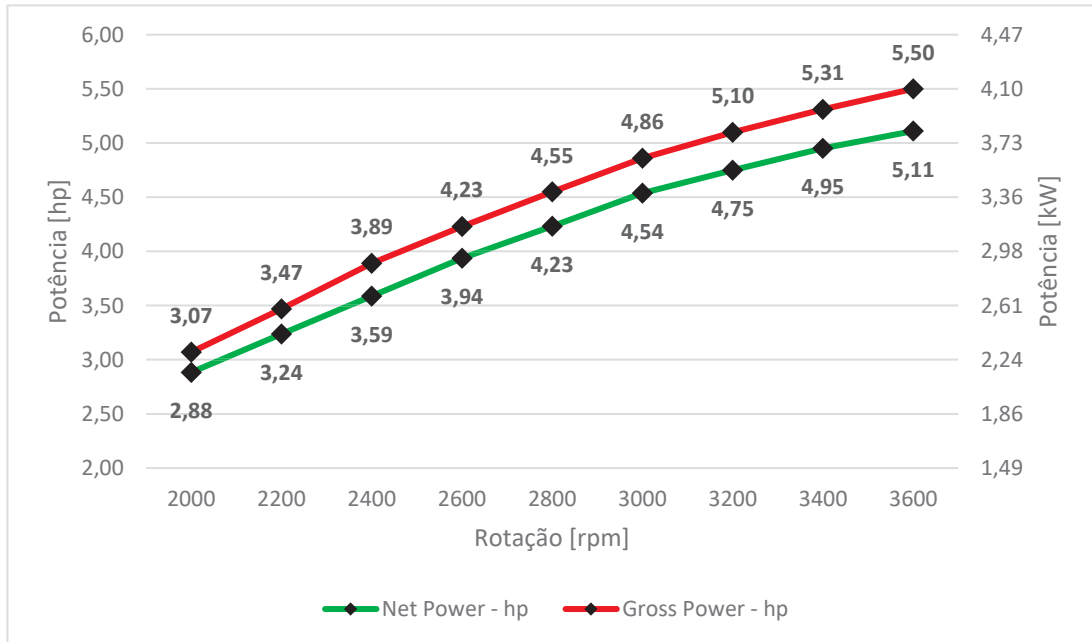
Fonte: Catálogo Branco Motores 2023

O gráfico fornecido pelo fabricante do motor informa os valores obtidos utilizando gasolina pura (combustível chinês). Para efeito de comparativo o gráfico com os dados do fornecedor foi refeito, convertendo a unidade de potência cv para hp, para ficar no padrão dos testes realizados, conforme mostra o gráfico 8 e a tabela 14.

Os combustíveis testados foram: gasolina comum, gasolina aditivada, gasolina podium® e etanol (todos adquiridos da Petrobrás).

6.1.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA PURA (CHINESA)

Gráfico 9 - Potência B4T 5.5H – Fornecedor – gasolina pura (chinesa)



Fonte: O autor

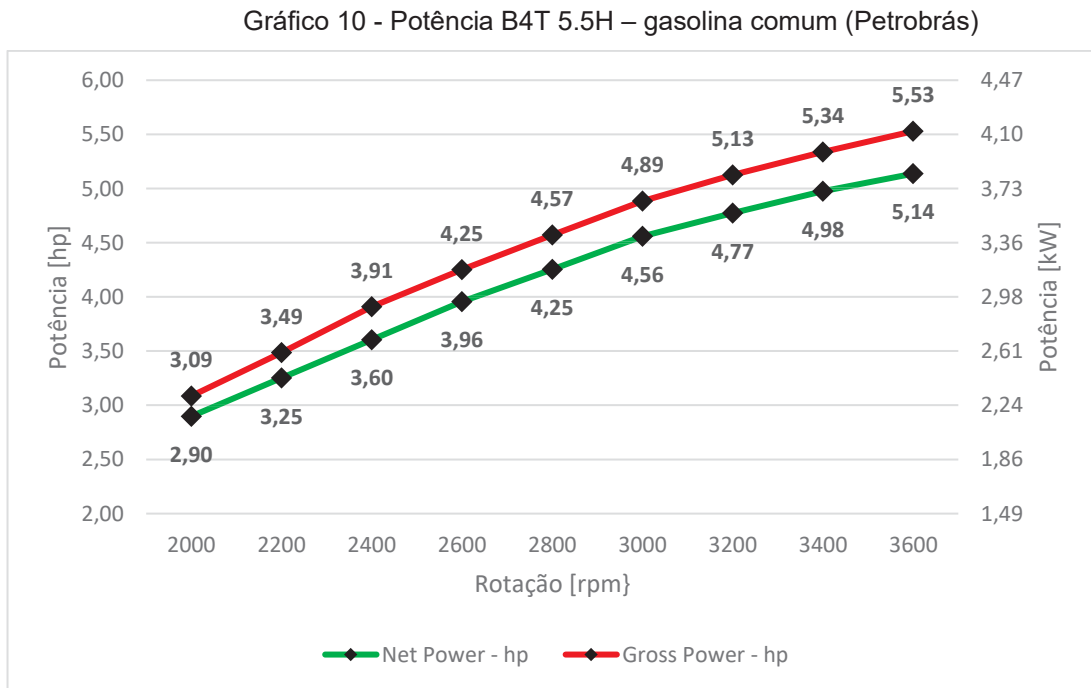
Tabela 18 - Potência B4T 5.5H – Fornecedor – gasolina pura (chinesa)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,29	3,11	3,07	2,15	2,92	2,88
	2200	2,59	3,52	3,47	2,41	3,28	3,24
	2400	2,90	3,94	3,89	2,68	3,64	3,59
	2600	3,16	4,29	4,23	2,94	3,99	3,94
	2800	3,39	4,61	4,55	3,16	4,29	4,23
	3000	3,63	4,93	4,86	3,38	4,60	4,54
	3200	3,80	5,17	5,10	3,54	4,82	4,75
	3400	3,96	5,38	5,31	3,69	5,02	4,95
	3600	4,10	5,58	5,50	3,81	5,18	5,11

Fonte: O autor

Para esse nicho de mercado as unidades habituais são o CV (cavalo vapor) para a potência. Porém, a norma SAE utiliza HP (horse power) para potência. A unidade do sistema internacional é o Watt. Para não ter equívocos forma colocadas as três unidades de medida de potência mais comuns.

6.1.3 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA COMUM



Fonte: O autor

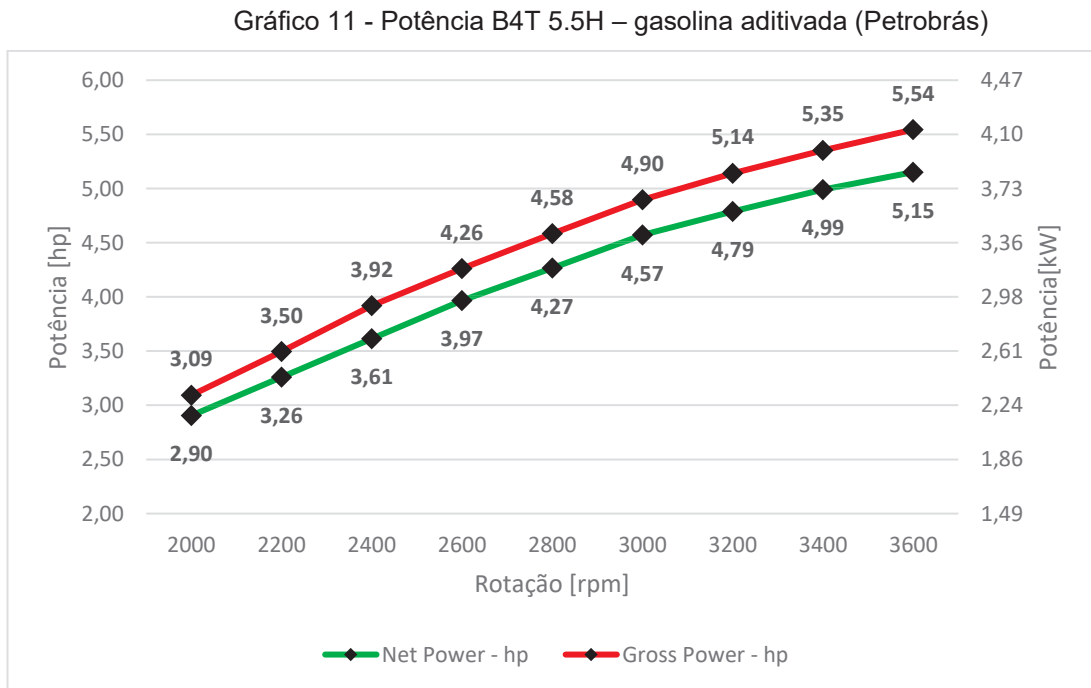
Tabela 19 - Potência B4T 5.5H – gasolina comum (Petrobrás)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,30	3,13	3,09	2,16	2,94	2,90
	2200	2,60	3,54	3,49	2,43	3,30	3,25
	2400	2,92	3,96	3,91	2,69	3,65	3,60
	2600	3,17	4,31	4,25	2,95	4,01	3,96
	2800	3,41	4,64	4,57	3,17	4,31	4,25
	3000	3,64	4,95	4,89	3,40	4,62	4,56
	3200	3,82	5,20	5,13	3,56	4,84	4,77
	3400	3,98	5,41	5,34	3,71	5,05	4,98
	3600	4,12	5,61	5,53	3,83	5,21	5,14

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da gasolina comum mostrou um aumento de 0,03 hp (0,58%) de potência nominal, levando em conta que a gasolina do Brasil tem 93 octanas e possui 27,5% de etanol adicionado em sua composição o valor ficou muito próximo ao informado pelo fornecedor.

6.1.4 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA ADITIVADA



Fonte: O autor

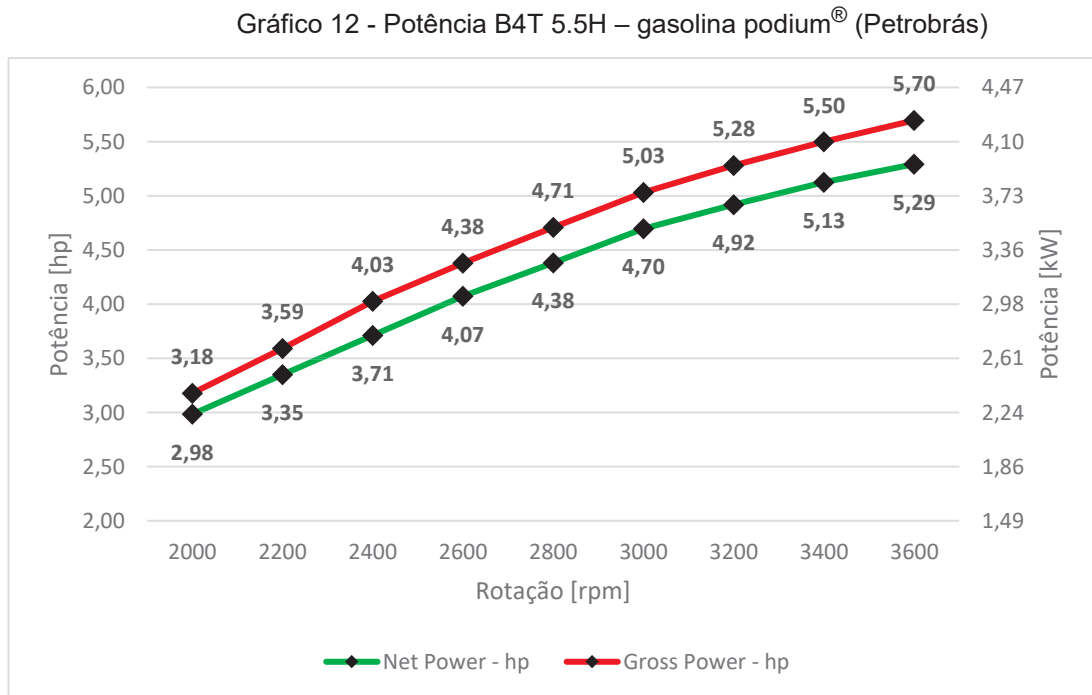
Tabela 20 - Potência B4T 5.5H – gasolina aditivada (Petrobrás)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,31	3,14	3,09	2,17	2,94	2,90
	2200	2,61	3,54	3,50	2,43	3,31	3,26
	2400	2,92	3,97	3,92	2,70	3,66	3,61
	2600	3,18	4,32	4,26	2,96	4,02	3,97
	2800	3,42	4,65	4,58	3,18	4,32	4,27
	3000	3,65	4,97	4,90	3,41	4,64	4,57
	3200	3,83	5,21	5,14	3,57	4,85	4,79
	3400	3,99	5,43	5,35	3,72	5,06	4,99
	3600	4,14	5,62	5,54	3,84	5,22	5,15

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da gasolina aditivada (93 octanas) mostrou um aumento de 0,01 hp (0,19%) de potência nominal, em relação a gasolina comum. Um aumento praticamente imperceptível. No caso, pode-se afirmar que a utilização de gasolina aditivada não altera o desempenho do motor.

6.1.5 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA GASOLINA PODIUM®



Fonte: O autor

Tabela 21 - Potência B4T 5.5H – gasolina podium® (Petrobrás)

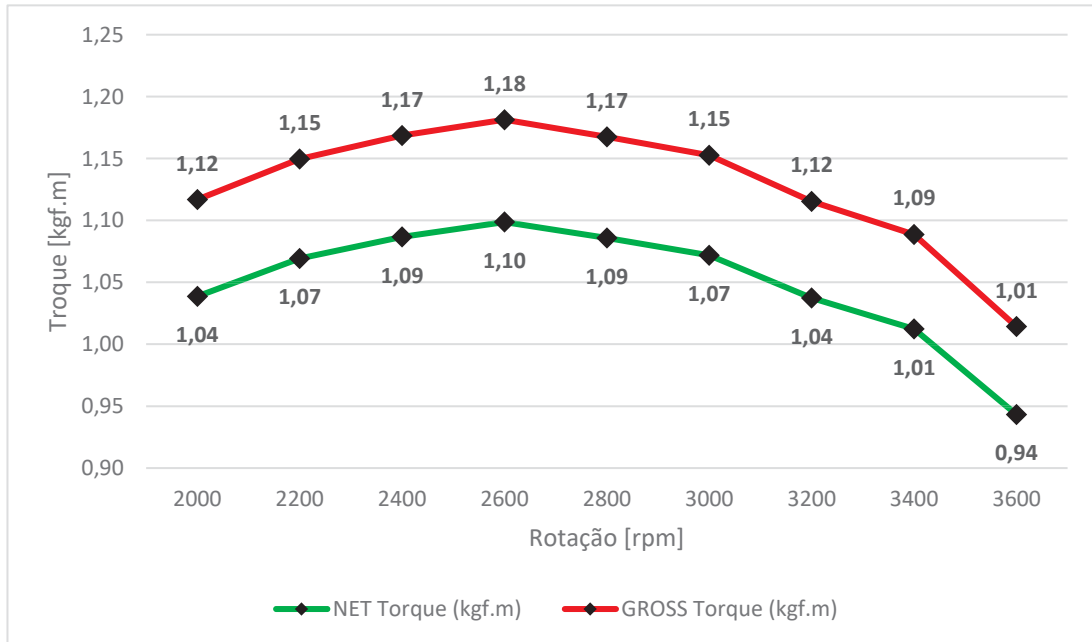
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,37	3,22	3,18	2,23	3,03	2,98
	2200	2,68	3,64	3,59	2,50	3,40	3,35
	2400	3,00	4,08	4,03	2,77	3,76	3,71
	2600	3,27	4,44	4,38	3,04	4,13	4,07
	2800	3,51	4,78	4,71	3,27	4,44	4,38
	3000	3,75	5,10	5,03	3,50	4,76	4,70
	3200	3,94	5,35	5,28	3,67	4,99	4,92
	3400	4,10	5,57	5,50	3,82	5,20	5,13
	3600	4,25	5,77	5,70	3,95	5,37	5,29

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da gasolina podium® mostrou um aumento de 0,15 hp (2,92%) de potência nominal, em relação a gasolina comum. O aumento é perceptível, devido a gasolina podium® ter uma octanagem maior (97 octanas) e apenas 25% de etanol em sua composição.

6.1.6 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA PURA (CHINESA)

Gráfico 13 - Torque B4T 5.5H – Fornecedor – gasolina pura (chinesa)



Fonte: O autor

Tabela 22 - Torque B4T 5.5H – Fornecedor – gasolina pura (chinesa)

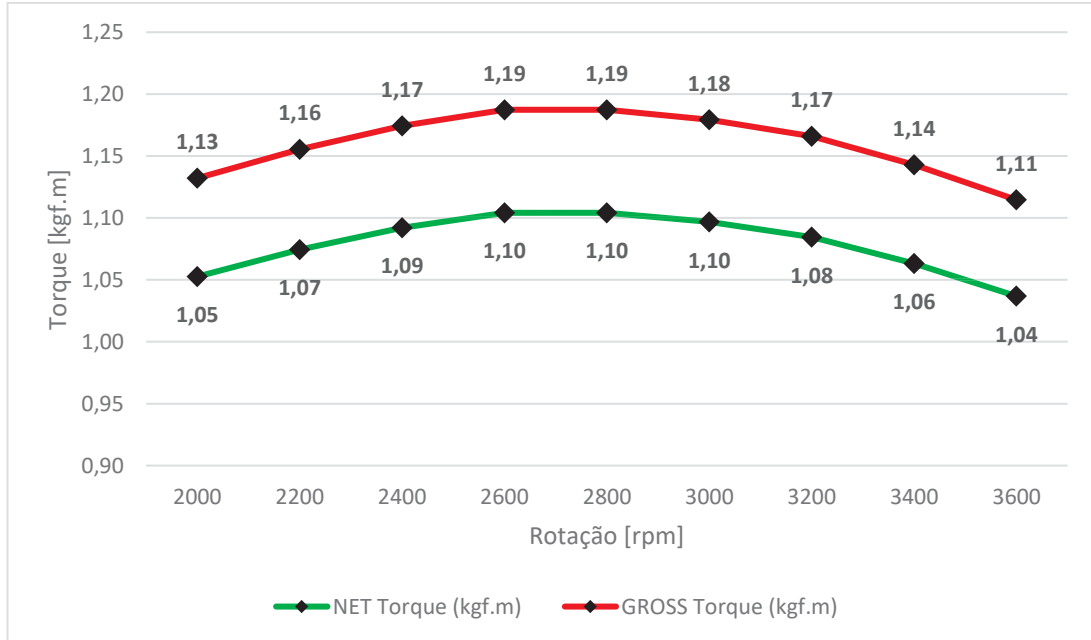
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	8,08	10,95	1,12	7,51	10,18	1,04
	2200	8,31	11,27	1,15	7,73	10,48	1,07
	2400	8,45	11,46	1,17	7,86	10,65	1,09
	2600	8,54	11,58	1,18	7,94	10,77	1,10
	2800	8,44	11,45	1,17	7,85	10,64	1,09
	3000	8,33	11,30	1,15	7,75	10,51	1,07
	3200	8,06	10,94	1,12	7,50	10,17	1,04
	3400	7,87	10,67	1,09	7,32	9,93	1,01
	3600	7,33	9,94	1,01	6,82	9,25	0,94

Fonte: O autor

Para esse nicho de mercado as unidades habituais são o kgf.m (quilograma-força metro) para o torque. Porém, a norma SAE utiliza ft.lb (pé-libra força) para torque. A unidade do sistema internacional é o N.m (Newton metro). Para não ter equívocos forma colocadas as três unidades de medida de torque mais comuns.

6.1.7 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA COMUM

Gráfico 14 - Torque B4T 5.5H – gasolina comum (Petrobrás)



Fonte: O autor

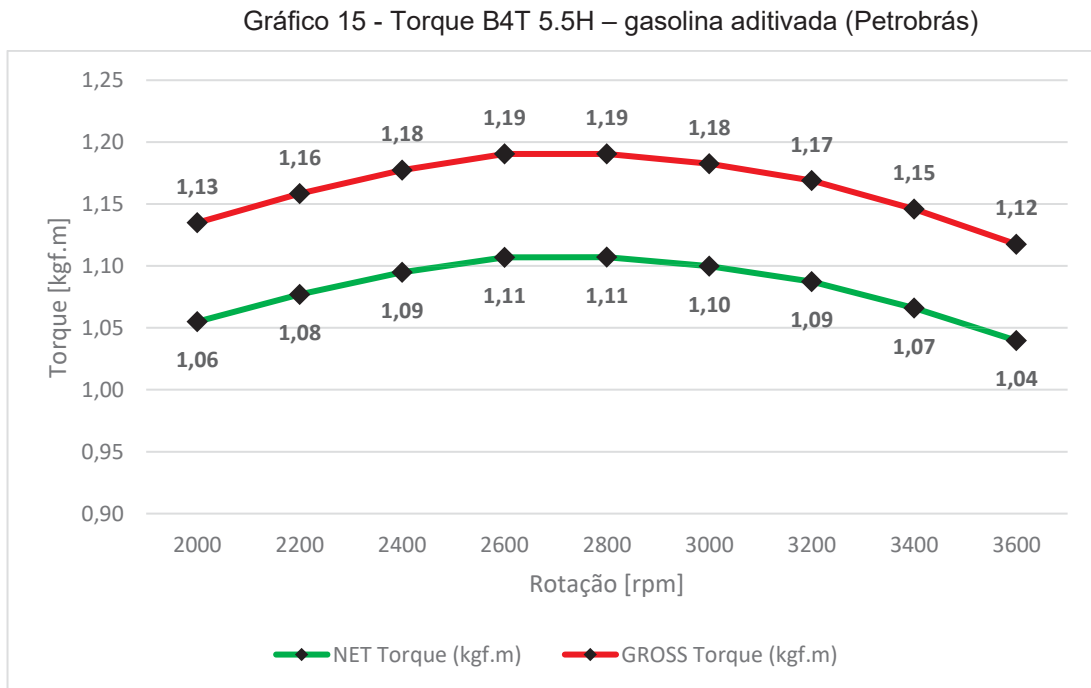
Tabela 23 - Torque B4T 5.5H – gasolina comum (Petrobrás)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	8,18	11,10	1,13	7,61	10,32	1,05
	2200	8,35	11,33	1,16	7,77	10,53	1,07
	2400	8,49	11,51	1,17	7,90	10,71	1,09
	2600	8,58	11,64	1,19	7,98	10,82	1,10
	2800	8,58	11,64	1,19	7,98	10,83	1,10
	3000	8,53	11,56	1,18	7,93	10,75	1,10
	3200	8,43	11,43	1,17	7,84	10,63	1,08
	3400	8,26	11,21	1,14	7,69	10,42	1,06
	3600	8,06	10,93	1,11	7,50	10,17	1,04

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste de torque nominal (valor máximo a 2600 rpm) da gasolina comum mostrou o mesmo valor informado pelo fornecedor. Com a gasolina do Brasil, que possui 27,5% de etanol adicionado em sua composição, ocorreu a extensão do valor da curva de torque nominal (máximo de 2600 a 2800 rpm), onde ocorreu o aumento de 0,01 kgf.m (0,91%) em relação ao dado do fornecedor.

6.1.8 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA ADITIVADA



Fonte: O autor

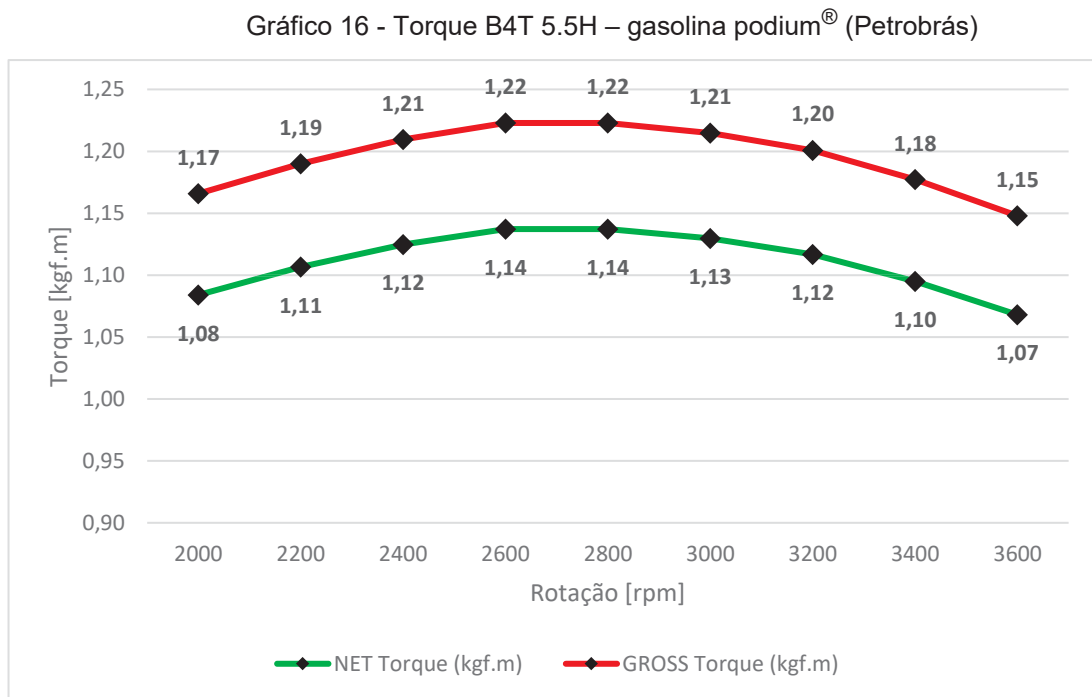
Tabela 24 - Torque B4T 5.5H – gasolina aditivada (Petrobrás)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	8,21	11,13	1,13	7,63	10,34	1,06
	2200	8,38	11,36	1,16	7,79	10,56	1,08
	2400	8,51	11,54	1,18	7,92	10,73	1,09
	2600	8,61	11,67	1,19	8,00	10,85	1,11
	2800	8,61	11,67	1,19	8,00	10,85	1,11
	3000	8,55	11,59	1,18	7,95	10,78	1,10
	3200	8,45	11,46	1,17	7,86	10,66	1,09
	3400	8,29	11,24	1,15	7,71	10,45	1,07
	3600	8,08	10,96	1,12	7,52	10,19	1,04

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da gasolina aditivada mostrou um aumento de 0,01 kgf.m (0,90%) do valor do torque nominal (máximo a 2600 rpm e a 2800 rpm) em relação ao da gasolina comum. No caso, pode-se afirmar que a utilização de gasolina aditivada não altera o desempenho do motor.

6.1.9 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE GASOLINA PODIUM®



Fonte: O autor

Tabela 25 - Torque B4T 5.5H – gasolina podium® (Petrobrás)

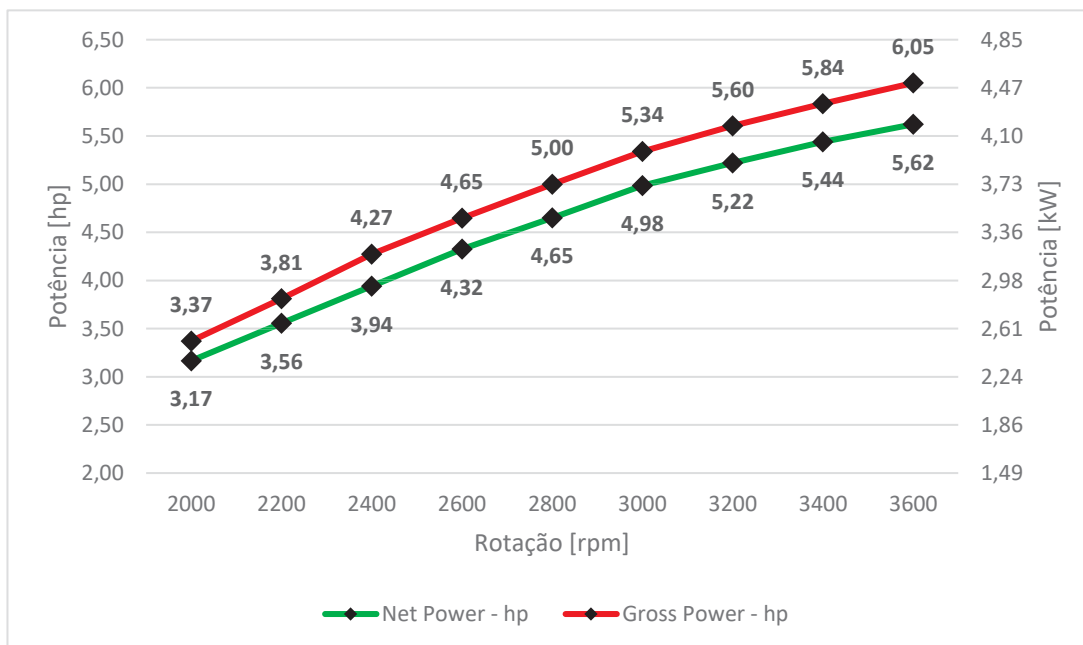
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	8,43	11,43	1,17	7,84	10,63	1,08
	2200	8,60	11,67	1,19	8,00	10,85	1,11
	2400	8,74	11,86	1,21	8,13	11,03	1,12
	2600	8,84	11,99	1,22	8,22	11,15	1,14
	2800	8,84	11,99	1,22	8,22	11,15	1,14
	3000	8,78	11,91	1,21	8,17	11,08	1,13
	3200	8,68	11,77	1,20	8,07	10,95	1,12
	3400	8,51	11,54	1,18	7,92	10,74	1,10
	3600	8,30	11,25	1,15	7,72	10,47	1,07

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da gasolina podium® mostrou um aumento de 0,04 kgf.m (3,63%) de torque nominal, em relação a gasolina comum. Apresentou o aumento devido a gasolina podium® ter uma octanagem maior (97 octanas) e apenas 25% de etanol em sua composição.

6.1.10 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA ETANOL

Gráfico 17 - Potência B4T 5.5H – Etanol (Petrobrás)



Fonte: O autor

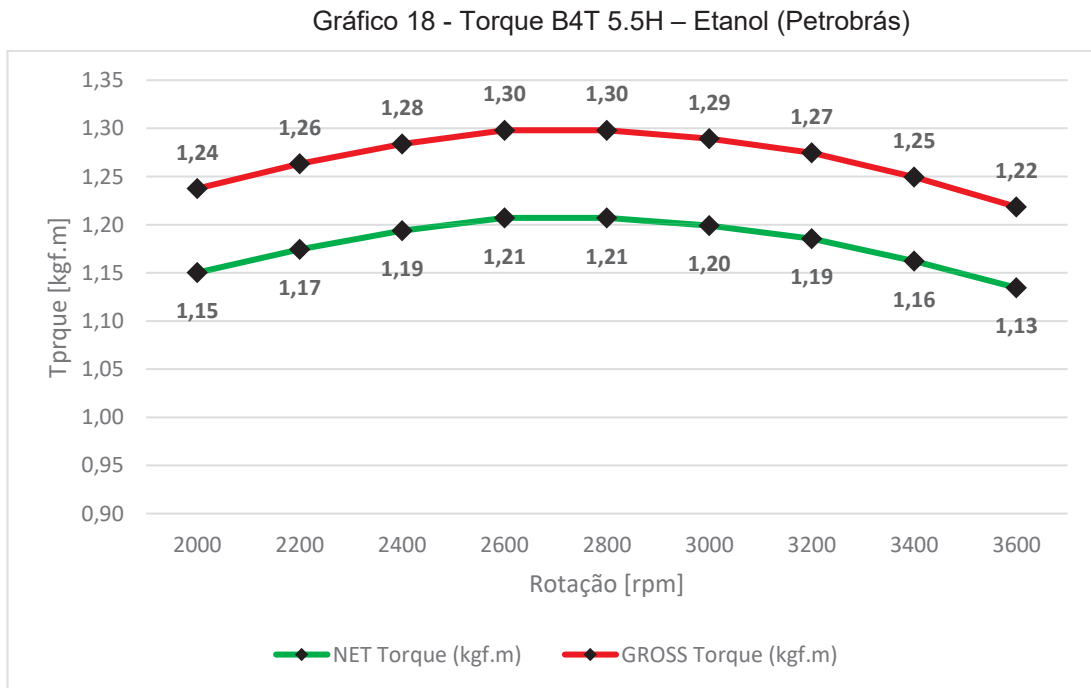
Tabela 26 – Potência B4T 5.5H – Etanol (Petrobrás)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,51	3,42	3,37	2,36	3,21	3,17
	2200	2,84	3,86	3,81	2,65	3,60	3,56
	2400	3,19	4,33	4,27	2,94	3,99	3,94
	2600	3,47	4,71	4,65	3,23	4,38	4,32
	2800	3,73	5,07	5,00	3,47	4,72	4,65
	3000	3,98	5,41	5,34	3,72	5,05	4,98
	3200	4,18	5,68	5,60	3,89	5,29	5,22
	3400	4,35	5,92	5,84	4,06	5,52	5,44
	3600	4,51	6,13	6,05	4,19	5,70	5,62

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do etanol mostrou um aumento de 0,48 hp de potência nominal, em relação a gasolina comum. Um aumento significativo, para a potência nominal de 9,33% e para a potência máxima um aumento de 9,40% em relação ao motor original a gasolina.

6.1.11 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE ETANOL



Fonte: O autor

Tabela 27 - Torque B4T 5.5H – Etanol (Petrobrás)

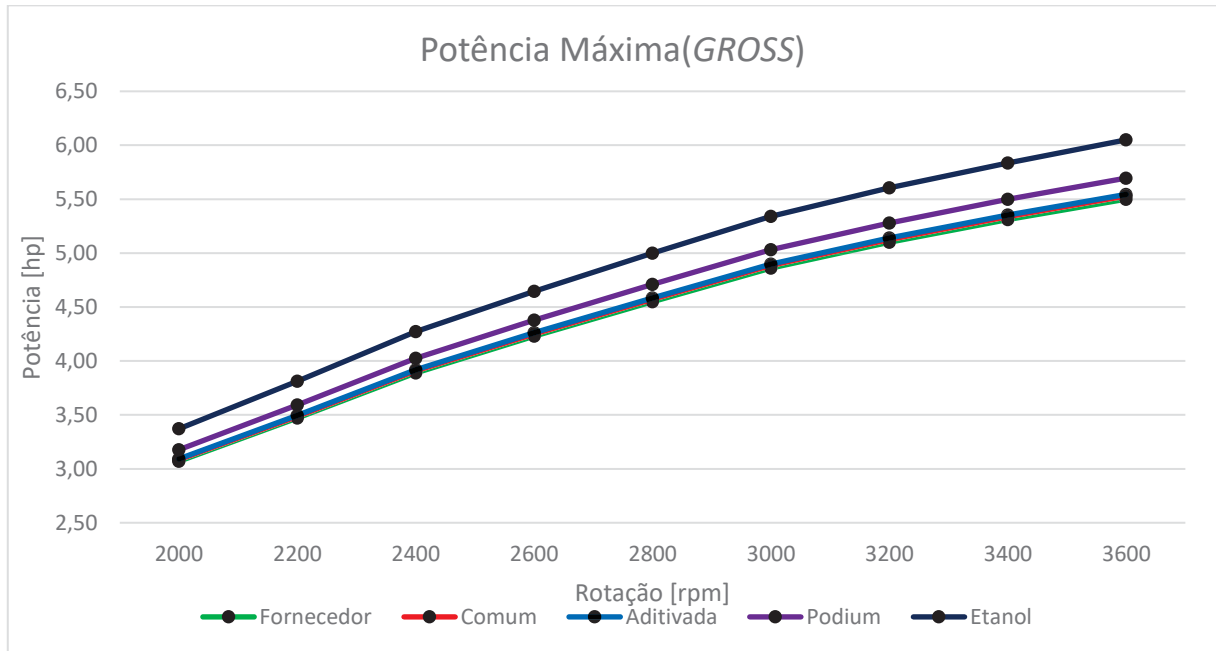
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	8,95	12,13	1,24	8,32	11,28	1,15
	2200	9,13	12,38	1,26	8,49	11,51	1,17
	2400	9,28	12,59	1,28	8,63	11,70	1,19
	2600	9,38	12,73	1,30	8,73	11,83	1,21
	2800	9,38	12,73	1,30	8,73	11,83	1,21
	3000	9,32	12,64	1,29	8,67	11,76	1,20
	3200	9,22	12,50	1,27	8,57	11,62	1,19
	3400	9,03	12,25	1,25	8,40	11,39	1,16
	3600	8,81	11,95	1,22	8,20	11,12	1,13

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do etanol mostrou um aumento de 0,11 kgf.m de torque nominal, valor 10% superior em relação ao torque do motor movido a gasolina comum.

6.1.12 CURVAS DE POTÊNCIA MÁXIMA CICLO OTTO.

Gráfico 19 – Potência Máxima do B4T 5.5H – Ciclo Otto



Fonte: O autor

Tabela 28 – Potência Máxima B4T 5.5H – Ciclo Otto

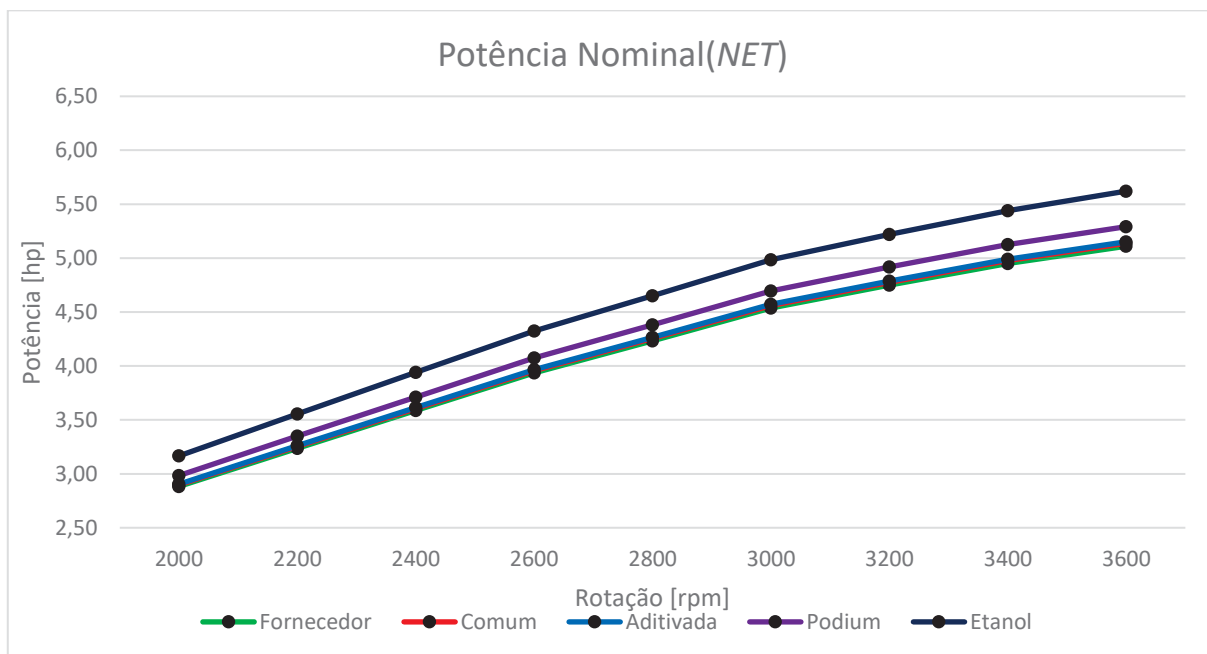
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)
B4T-5.5	2000	3,07	3,09	3,09	3,18	3,37
	2200	3,47	3,49	3,50	3,59	3,81
	2400	3,89	3,91	3,92	4,03	4,27
	2600	4,23	4,25	4,26	4,38	4,65
	2800	4,55	4,57	4,58	4,71	5,00
	3000	4,86	4,89	4,90	5,03	5,34
	3200	5,10	5,13	5,14	5,28	5,60
	3400	5,31	5,34	5,35	5,50	5,84
	3600	5,50	5,53	5,54	5,70	6,05
		Fornecedor	Comum	Aditivada	Podium®	Etanol

Fonte: O autor

O gráfico 19 compara os valores de potência máxima ou bruta (*GROSS*) obtidos nos testes do motor B4T-5,5 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.1.13 CURVAS DE POTÊNCIA NOMINAL CICLO OTTO.

Gráfico 20 – Potência Nominal do B4T 5.5H – Ciclo Otto



Fonte: O autor

Tabela 29 – Potência Nominal B4T 5.5H – Ciclo Otto

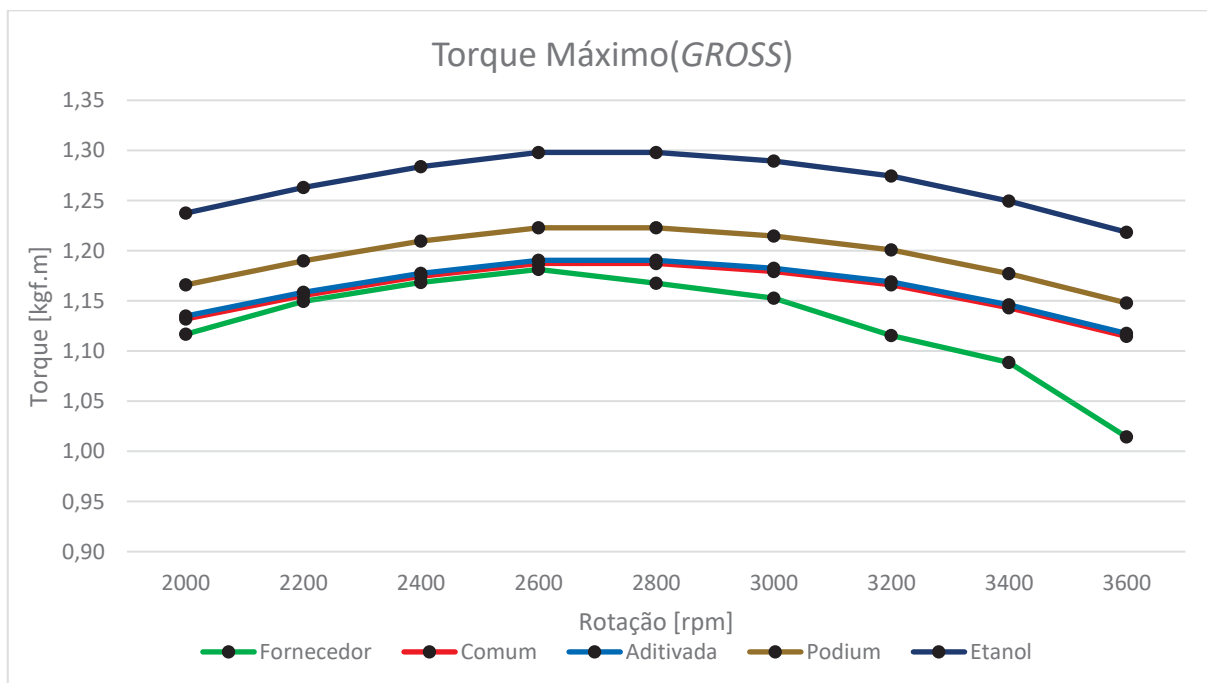
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)
B4T-5.5	2000	2,88	2,90	2,90	2,98	3,17
	2200	3,24	3,25	3,26	3,35	3,56
	2400	3,59	3,60	3,61	3,71	3,94
	2600	3,94	3,96	3,97	4,07	4,32
	2800	4,23	4,25	4,27	4,38	4,65
	3000	4,54	4,56	4,57	4,70	4,98
	3200	4,75	4,77	4,79	4,92	5,22
	3400	4,95	4,98	4,99	5,13	5,44
	3600	5,11	5,14	5,15	5,29	5,62
		Fornecedor	Comum	Aditivada	Podium®	Etanol

Fonte: O autor

O gráfico 19 compara os valores de potência nominal ou líquida (*NET*) obtidos nos testes do motor B4T-5,5 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.1.14 CURVAS DE TORQUE MÁXIMO CICLO OTTO.

Gráfico 21 – Torque Máximo do B4T 5.5H – Ciclo Otto



Fonte: O autor

Tabela 30 – Torque Máximo B4T 5.5H – Ciclo Otto

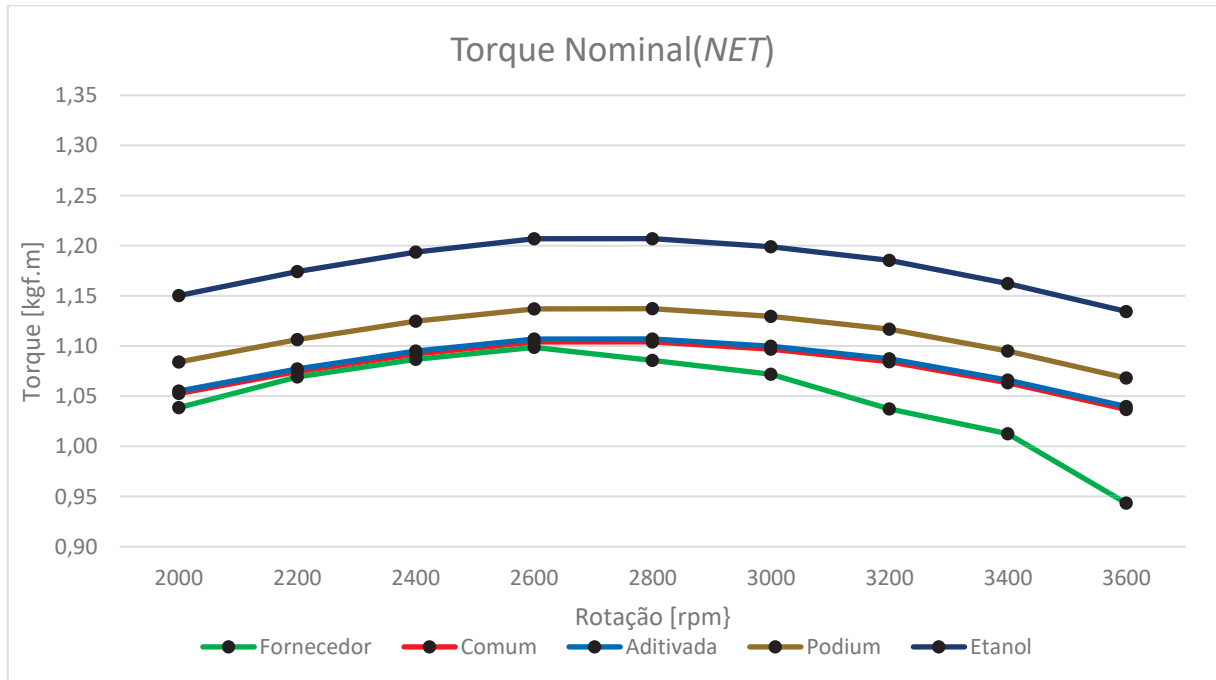
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	1,12	1,13	1,13	1,17	1,24
	2200	1,15	1,16	1,16	1,19	1,26
	2400	1,17	1,17	1,18	1,21	1,28
	2600	1,18	1,19	1,19	1,22	1,30
	2800	1,17	1,19	1,19	1,22	1,30
	3000	1,15	1,18	1,18	1,21	1,29
	3200	1,12	1,17	1,17	1,20	1,27
	3400	1,09	1,14	1,15	1,18	1,25
	3600	1,01	1,11	1,12	1,15	1,22
		Fornecedor	Comum	Aditivada	Podium®	Etanol

Fonte: O autor

O gráfico 21 compara os valores de torque máximo ou bruto (*GROSS*) obtidos nos testes do motor B4T-5,5 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.1.15 CURVAS DE TORQUE NOMINAL CICLO OTTO.

Gráfico 22 – Torque Nominal do B4T 5.5H – Ciclo Otto



Fonte: O autor

Tabela 31 – Torque Nominal B4T 5.5H – Ciclo Otto

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)
B4T-5.5	2000	1,04	1,05	1,06	1,08	1,15
	2200	1,07	1,07	1,08	1,11	1,17
	2400	1,09	1,09	1,09	1,12	1,19
	2600	1,10	1,10	1,11	1,14	1,21
	2800	1,09	1,10	1,11	1,14	1,21
	3000	1,07	1,10	1,10	1,13	1,20
	3200	1,04	1,08	1,09	1,12	1,19
	3400	1,01	1,06	1,07	1,10	1,16
	3600	0,94	1,04	1,04	1,07	1,13
		Fornecedor	Comum	Aditivada	Podium®	Etanol

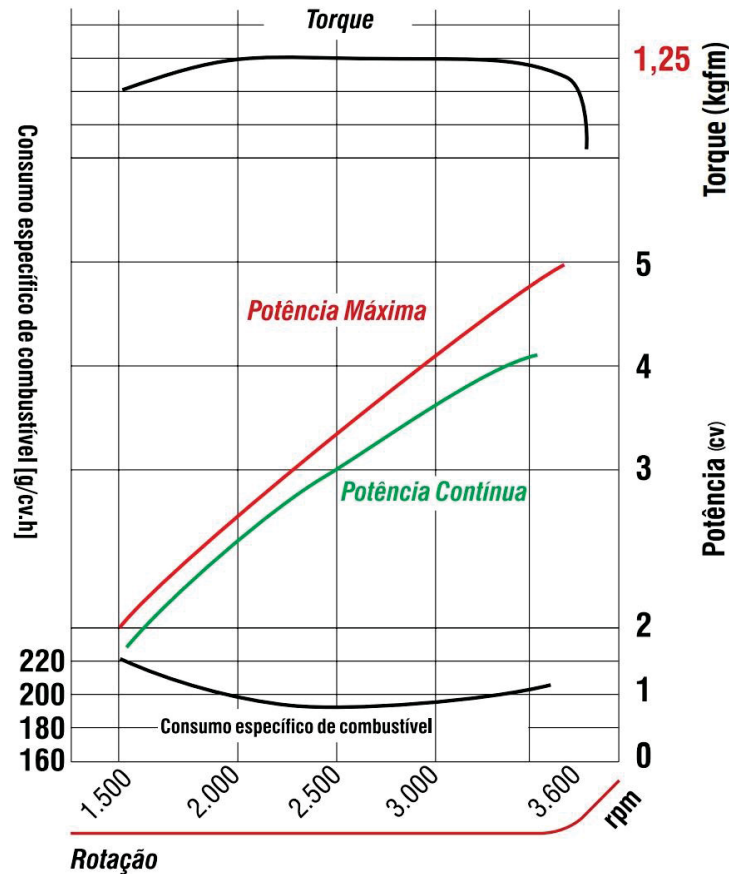
Fonte: O autor

O gráfico 19 compara os valores de torque nominal ou líquido (*NET*) obtidos nos testes do motor B4T-5,5 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DO MOTOR A DIESEL

O gráfico fornecido pelo fabricante do motor informa os valores obtidos utilizando diesel comum (combustível chinês).

Gráfico 23 - Potência/Torque BD 5.0



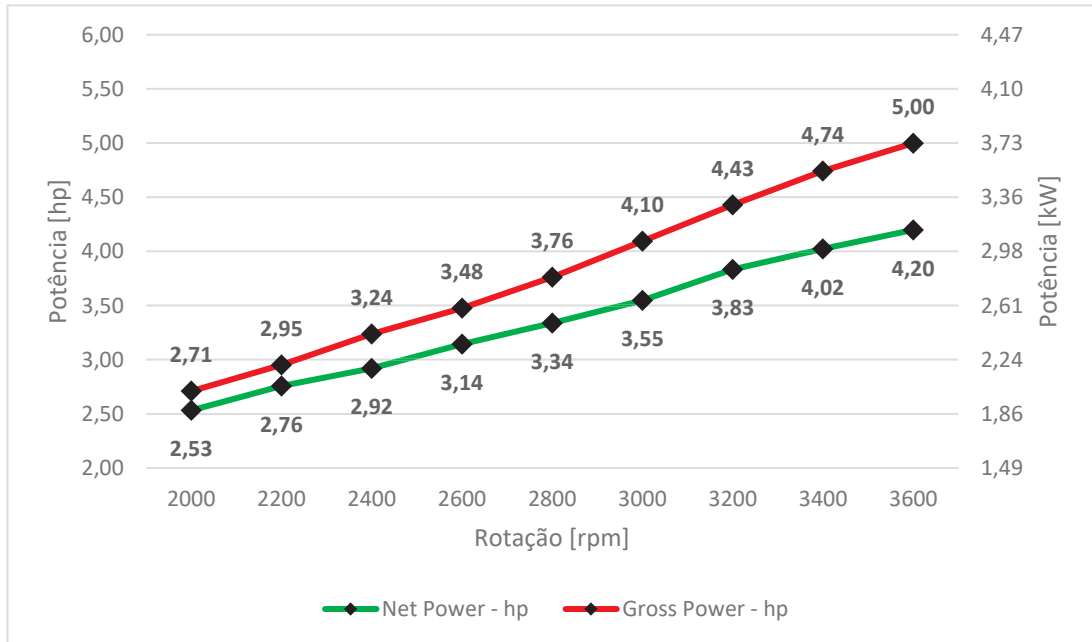
Fonte: Catalogo Branco Motores 2023

O gráfico fornecido pelo fabricante do motor informa os valores obtidos utilizando diesel comum (combustível chinês). Para efeito de comparativo o gráfico com os dados do fornecedor foi refeito, convertendo a unidade de potência cv para hp, para ficar no padrão dos testes realizados, conforme mostra o gráfico 17 e a tabela 23.

Os combustíveis testados foram: Diesel S-500, Diesel S-10, Biodiesel 25% (B25), Biodiesel 50% (B50) e Biodiesel 75% (B75).

6.2.1 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL COMUM (CHINÊS)

Gráfico 24 - Potência BD 5.0 – Diesel (chinês)



Fonte: O autor

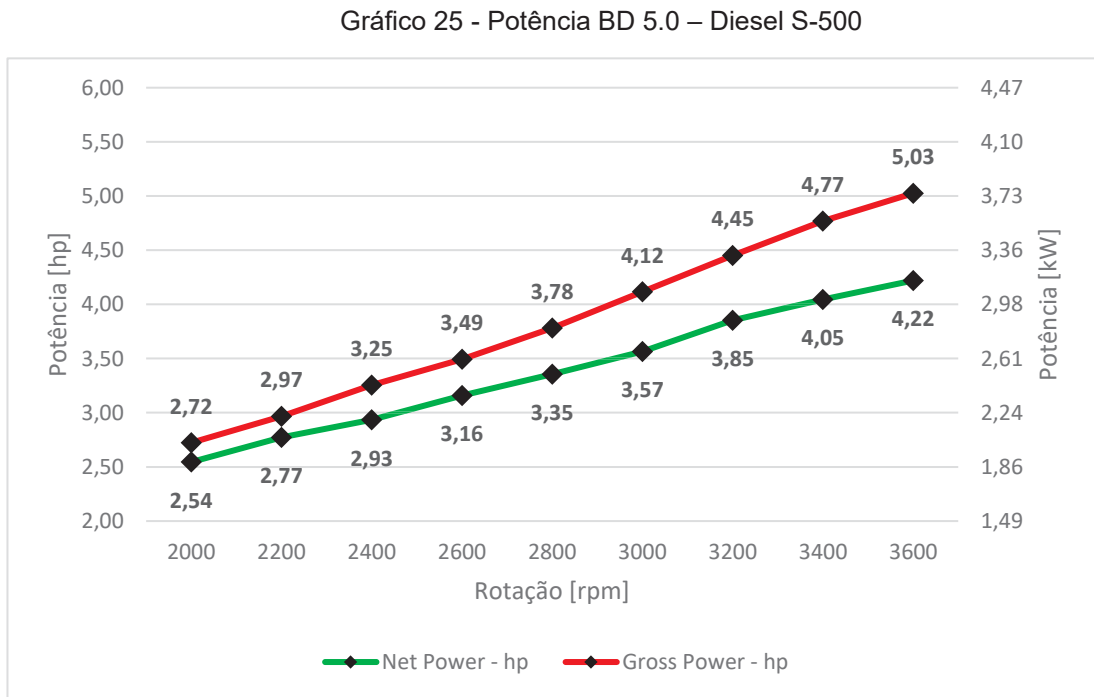
Tabela 32 – Potência BD 5.0 – Diesel (chinês)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	2,02	2,75	2,71	1,89	2,57	2,53
	2200	2,20	2,99	2,95	2,06	2,80	2,76
	2400	2,42	3,28	3,24	2,18	2,96	2,92
	2600	2,59	3,52	3,48	2,34	3,19	3,14
	2800	2,81	3,81	3,76	2,49	3,38	3,34
	3000	3,06	4,15	4,10	2,65	3,60	3,55
	3200	3,30	4,49	4,43	2,86	3,89	3,83
	3400	3,54	4,81	4,74	3,00	4,08	4,02
	3600	3,73	5,07	5,00	3,13	4,26	4,20

Fonte: O autor

Para esse nicho de mercado as unidades habituais são o CV (cavalo vapor) para a potência. Porém, a norma SAE utiliza HP (horse power) para potência. A unidade do sistema internacional é o Watt. Para não ter equívocos forma colocadas as três unidades de medida de potência mais comuns.

6.2.2 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL S-500



Fonte: O autor

Tabela 33 – Potência BD 5.0 – Diesel S-500

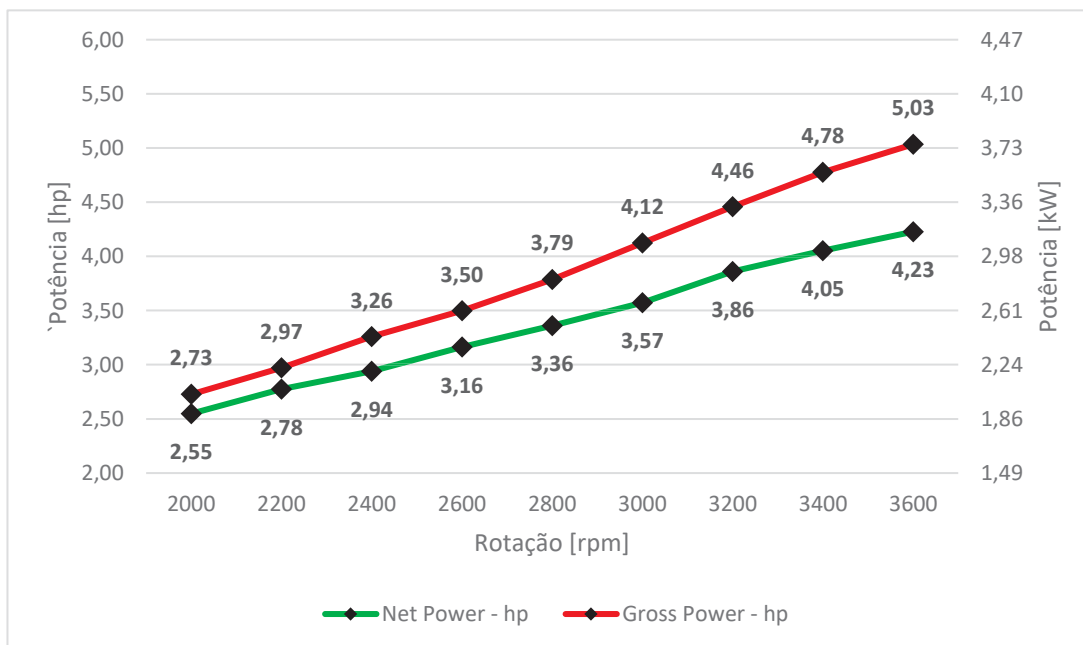
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	2,03	2,76	2,72	1,90	2,58	2,54
	2200	2,21	3,01	2,97	2,07	2,81	2,77
	2400	2,43	3,30	3,25	2,19	2,97	2,93
	2600	2,61	3,54	3,49	2,36	3,20	3,16
	2800	2,82	3,83	3,78	2,50	3,40	3,35
	3000	3,07	4,17	4,12	2,66	3,62	3,57
	3200	3,32	4,51	4,45	2,87	3,91	3,85
	3400	3,56	4,83	4,77	3,02	4,10	4,05
	3600	3,75	5,09	5,03	3,15	4,28	4,22

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste da diesel S-500 mostrou um aumento de 0,02 hp (0,47%) de potência nominal em relação ao valor informado pelo fornecedor. O diesel S-500 possui 12% de biodiesel acrescentado em sua mistura por lei.

6.2.3 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA DIESEL S-10

Gráfico 26 - Potência BD 5.0 – Diesel S-10



Fonte: O autor

Tabela 34 – Potência BD 5.0 – Diesel S-10

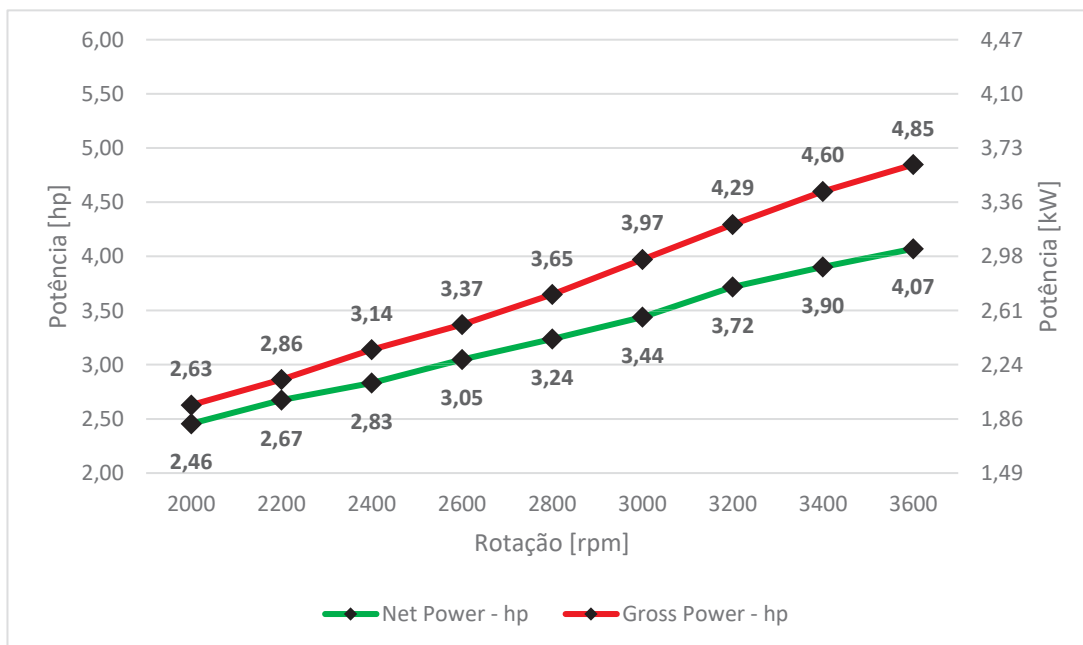
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	2,03	2,76	2,73	1,90	2,58	2,55
	2200	2,22	3,01	2,97	2,07	2,81	2,78
	2400	2,43	3,30	3,26	2,19	2,98	2,94
	2600	2,61	3,55	3,50	2,36	3,21	3,16
	2800	2,83	3,84	3,79	2,51	3,41	3,36
	3000	3,08	4,18	4,12	2,66	3,62	3,57
	3200	3,33	4,52	4,46	2,88	3,91	3,86
	3400	3,56	4,84	4,78	3,02	4,11	4,05
	3600	3,76	5,10	5,03	3,15	4,29	4,23

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do diesel S-10 mostrou um aumento de 0,01 hp (0,23%) de potência nominal em relação ao diesel S-500. O diesel S-10 possui 12% de biodiesel acrescentado em sua mistura por lei.

6.2.4 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BIODIESEL 25%

Gráfico 27 - Potência BD 5.0 – Biodiesel 25%



Fonte: O autor

Tabela 35 – Potência BD 5.0 – Biodiesel 25%

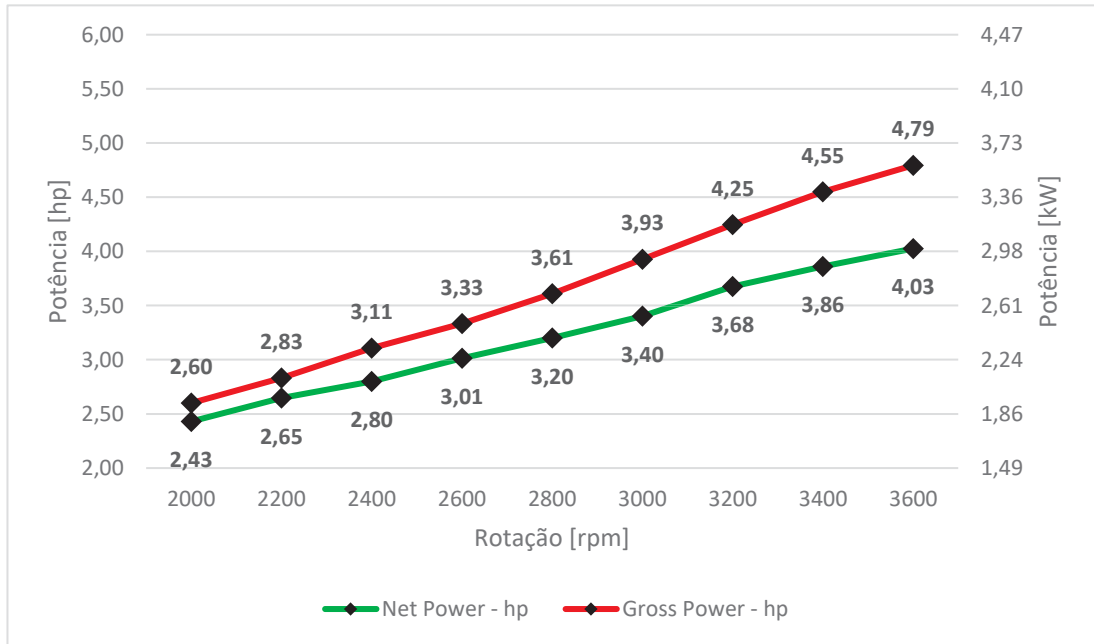
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	1,96	2,66	2,63	1,83	2,49	2,46
	2200	2,14	2,90	2,86	2,00	2,71	2,67
	2400	2,34	3,18	3,14	2,11	2,87	2,83
	2600	2,51	3,42	3,37	2,27	3,09	3,05
	2800	2,72	3,70	3,65	2,41	3,28	3,24
	3000	2,96	4,03	3,97	2,57	3,49	3,44
	3200	3,20	4,35	4,29	2,77	3,77	3,72
	3400	3,43	4,66	4,60	2,91	3,96	3,90
	3600	3,62	4,91	4,85	3,04	4,13	4,07

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 25% mostraram um decréscimo de 0,15 hp (3,68%) de potência nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 75% de diesel S-500 com 25% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja.

6.2.5 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BIODIESEL 50%

Gráfico 28 - Potência BD 5.0 – Biodiesel 50%



Fonte: O autor

Tabela 36 – Potência BD 5.0 – Biodiesel 50%

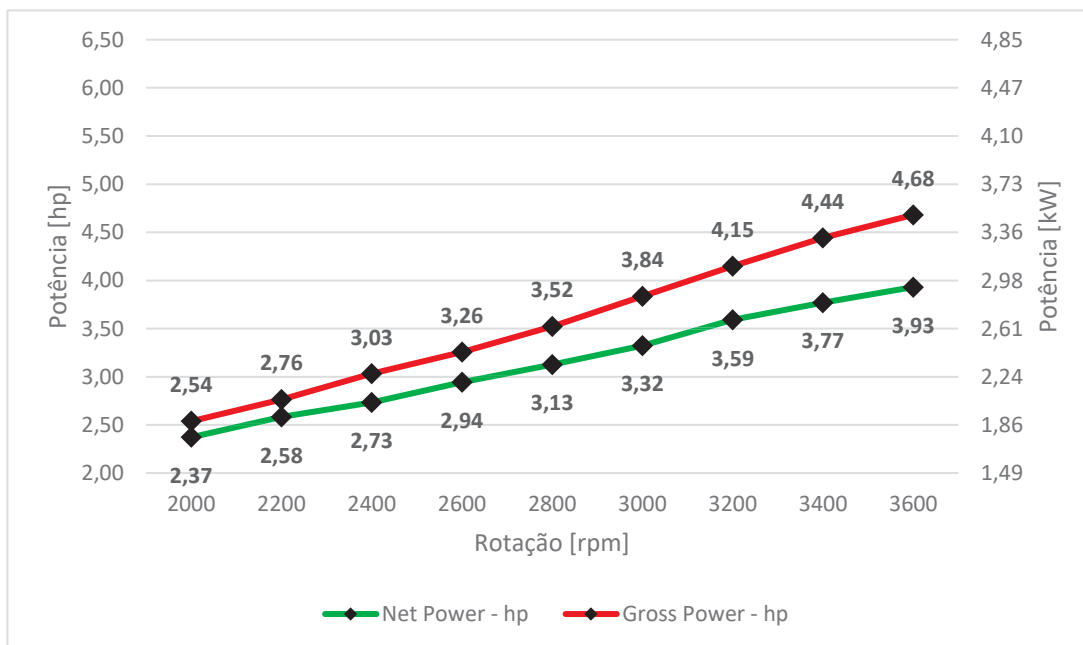
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	1,94	2,64	2,60	1,81	2,46	2,43
	2200	2,11	2,87	2,83	1,97	2,68	2,65
	2400	2,32	3,15	3,11	2,09	2,84	2,80
	2600	2,49	3,38	3,33	2,25	3,06	3,01
	2800	2,69	3,66	3,61	2,39	3,25	3,20
	3000	2,93	3,98	3,93	2,54	3,45	3,40
	3200	3,17	4,31	4,25	2,74	3,73	3,68
	3400	3,39	4,61	4,55	2,88	3,91	3,86
	3600	3,58	4,86	4,79	3,00	4,08	4,03

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 50% mostraram um decréscimo de 0,19 hp (4,71%) de potência nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 50% de diesel S-500 com 50% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja.

6.2.6 GRÁFICO DA CURVA DE POTÊNCIA BODIESEL 75%

Gráfico 29 - Potência BD 5.0 – Biodiesel 75%



Fonte: O autor

Tabela 37 – Potência BD 5.0 – Biodiesel 75%

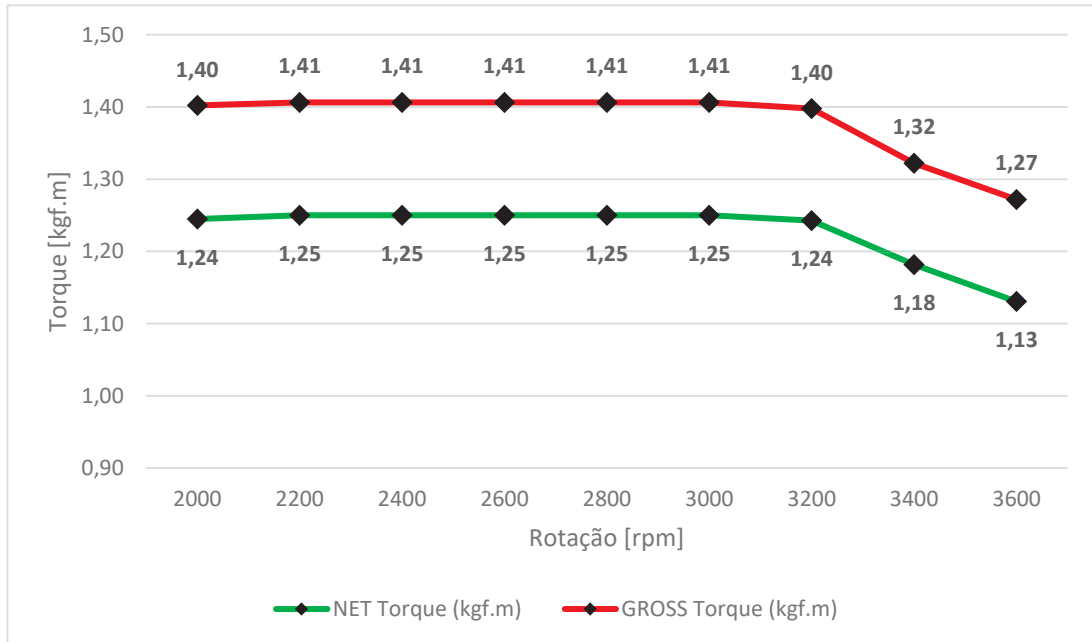
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (kW)	GROSS Power (cv)	GROSS Power (hp)	NET Power (kW)	NET Power (cv)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	1,89	2,57	2,54	1,77	2,40	2,37
	2200	2,06	2,80	2,76	1,93	2,62	2,58
	2400	2,26	3,07	3,03	2,04	2,77	2,73
	2600	2,43	3,30	3,26	2,20	2,98	2,94
	2800	2,63	3,57	3,52	2,33	3,17	3,13
	3000	2,86	3,89	3,84	2,48	3,37	3,32
	3200	3,09	4,21	4,15	2,68	3,64	3,59
	3400	3,31	4,50	4,44	2,81	3,82	3,77
	3600	3,49	4,75	4,68	2,93	3,99	3,93

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 75% mostraram um decréscimo de 0,29 hp (7,38%) de potência nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 25% de diesel S-500 com 75% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja.

6.2.7 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL (CHINÊS)

Gráfico 30 - Torque BD-5.0 – Fornecedor – diesel (chinês)



Fonte: O autor

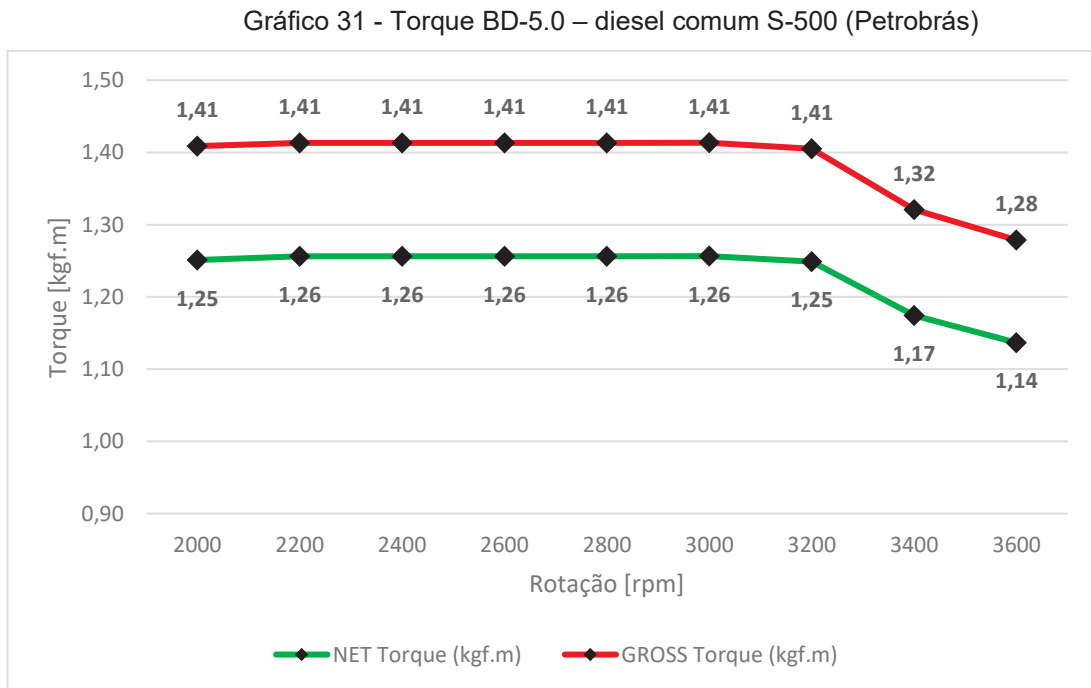
Tabela 38 - Torque BD-5.0 – Fornecedor – diesel (chinês)

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	10,14	13,75	1,40	9,00	12,20	1,24
	2200	10,17	13,79	1,41	9,04	12,25	1,25
	2400	10,17	13,79	1,41	9,04	12,25	1,25
	2600	10,17	13,79	1,41	9,04	12,25	1,25
	2800	10,17	13,79	1,41	9,04	12,25	1,25
	3000	10,17	13,79	1,41	9,04	12,25	1,25
	3200	10,11	13,70	1,40	8,98	12,18	1,24
	3400	9,56	12,96	1,32	8,54	11,59	1,18
	3600	9,20	12,47	1,27	8,17	11,08	1,13

Fonte: O autor

Para esse nicho de mercado as unidades habituais são o kgf.m (quilograma-força metro) para o torque. Porém, a norma SAE utiliza ft.lb (pé-libra força) para torque. A unidade do sistema internacional é o N.m (Newton metro). Para não ter equívocos forma colocadas as três unidades de medida de torque mais comuns.

6.2.8 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL S-500



Fonte: O autor

Tabela 39 - Torque BD-5.0 – diesel comum S-500 (Petrobrás)

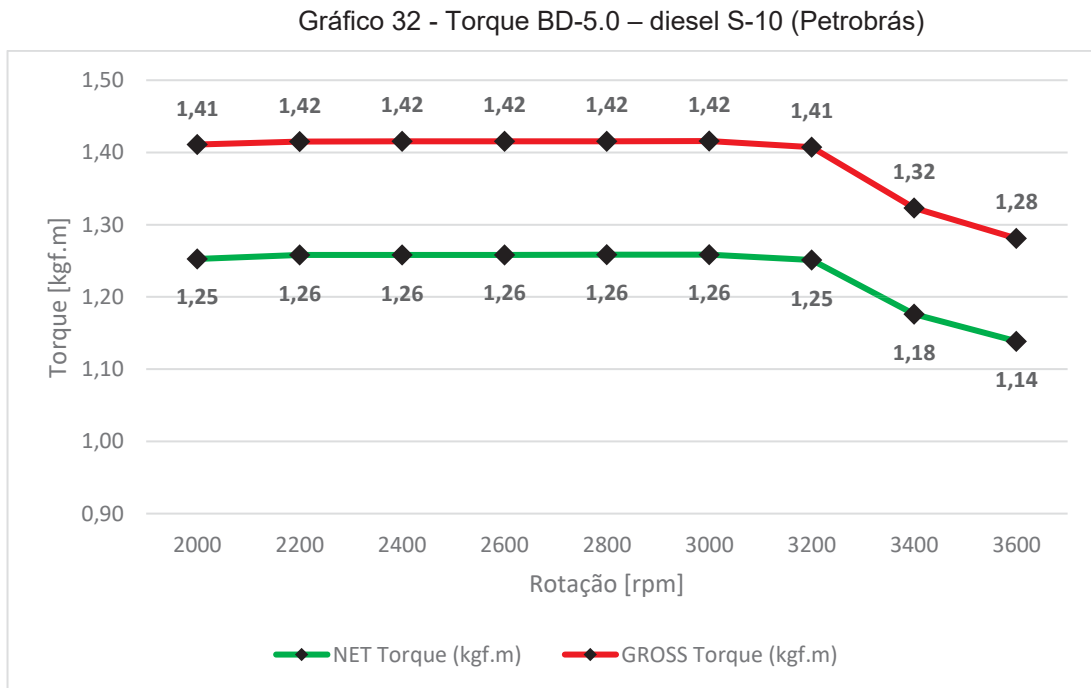
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	10,19	13,81	1,41	9,04	12,26	1,25
	2200	10,22	13,85	1,41	9,08	12,32	1,26
	2400	10,22	13,85	1,41	9,08	12,32	1,26
	2600	10,22	13,86	1,41	9,08	12,32	1,26
	2800	10,22	13,86	1,41	9,08	12,32	1,26
	3000	10,22	13,86	1,41	9,08	12,32	1,26
	3200	10,16	13,78	1,41	9,03	12,25	1,25
	3400	9,55	12,95	1,32	8,49	11,51	1,17
	3600	9,24	12,54	1,28	8,22	11,14	1,14

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste de torque nominal (valor máximo a 2600 rpm) do diesel S-500 mostrou um aumento de 0,01 kgf.m (0,80%) em relação ao dado do fornecedor.

Com o diesel S-500, que possui 12% de biodiesel adicionado em sua composição, ocorreu a extensão dos valores da curva de torque nominal, mantendo-se constantes entre as rotações de 2200 rpm a 3000 rpm.

6.2.9 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE DIESEL S-10



Fonte: O autor

Tabela 40 - Torque BD-5.0 – diesel S-10 (Petrobrás)

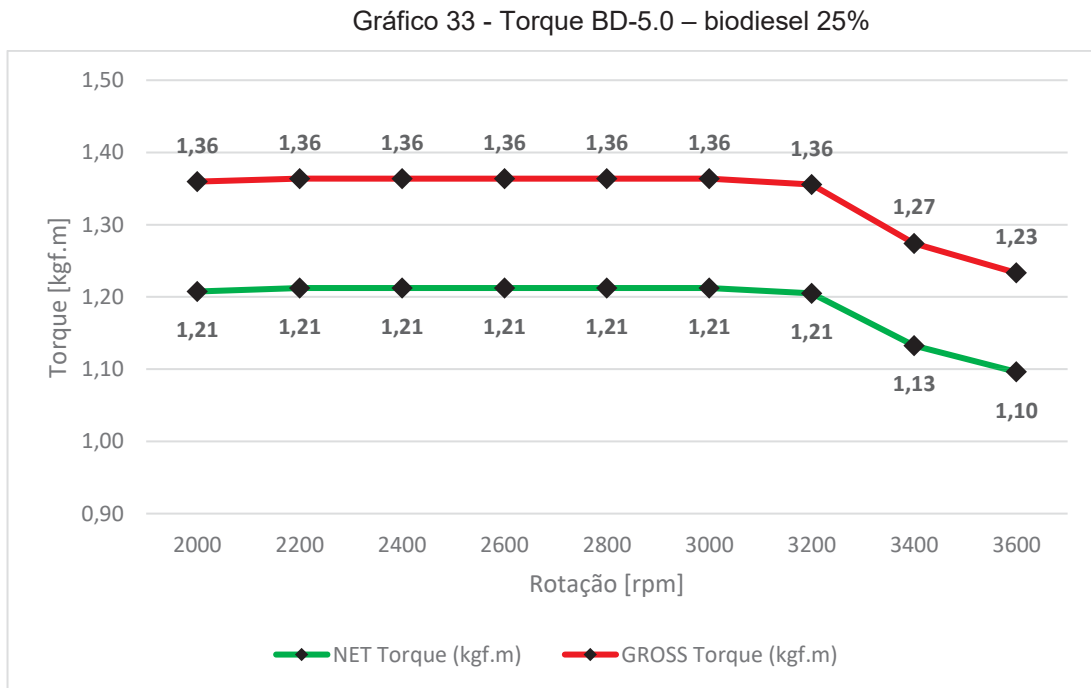
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	10,20	13,83	1,41	9,06	12,28	1,25
	2200	10,23	13,87	1,42	9,10	12,33	1,26
	2400	10,23	13,88	1,42	9,10	12,34	1,26
	2600	10,23	13,88	1,42	9,10	12,34	1,26
	2800	10,23	13,88	1,42	9,10	12,34	1,26
	3000	10,24	13,88	1,42	9,10	12,34	1,26
	3200	10,18	13,80	1,41	9,05	12,27	1,25
	3400	9,57	12,97	1,32	8,50	11,53	1,18
	3600	9,26	12,56	1,28	8,23	11,16	1,14

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste de torque máximo (valor máximo a 2600rpm) do diesel S-10 mostrou um aumento de 0,01 kgf.m (0,72%) em relação ao diesel S-500.

Com o diesel S-10, que também possui 12% de biodiesel adicionado em sua composição, ocorreu a mesma extensão dos valores da curva de torque nominal, mantendo-se constantes entre as rotações de 2200 rpm a 3000 rpm.

6.2.10 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 25%



Fonte: O autor

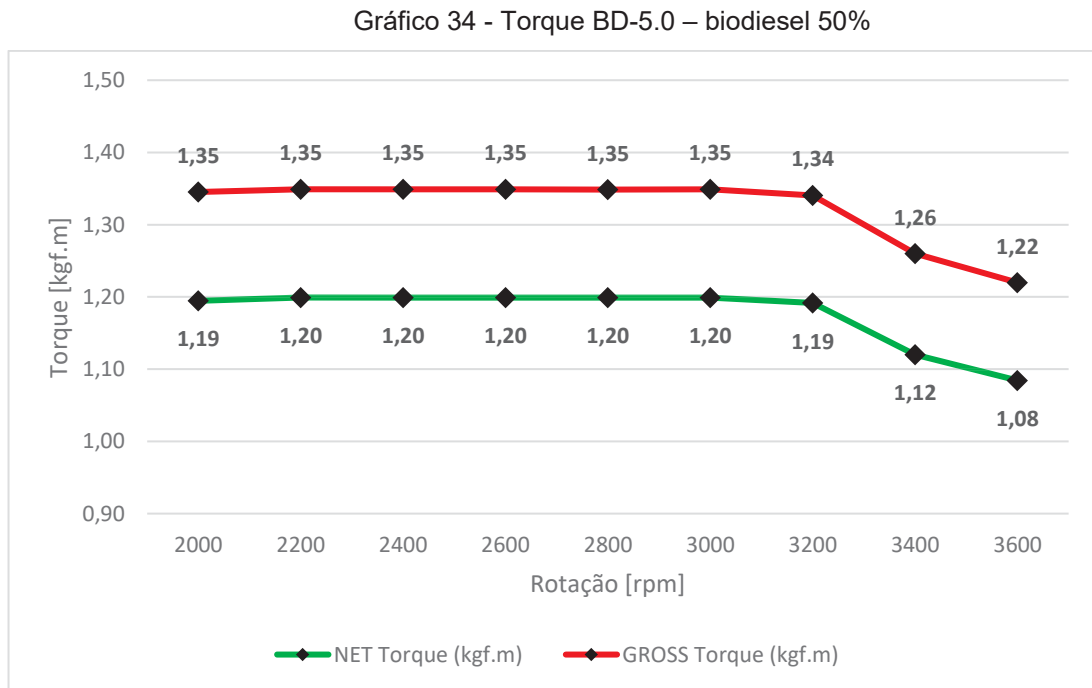
Tabela 41 - Torque BD-5.0 – biodiesel 25%

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	9,83	13,33	1,36	8,73	11,84	1,21
	2200	9,86	13,37	1,36	8,76	11,89	1,21
	2400	9,86	13,37	1,36	8,76	11,88	1,21
	2600	9,86	13,37	1,36	8,76	11,88	1,21
	2800	9,86	13,37	1,36	8,76	11,88	1,21
	3000	9,86	13,37	1,36	8,76	11,88	1,21
	3200	9,80	13,29	1,36	8,71	11,81	1,21
	3400	9,21	12,49	1,27	8,19	11,10	1,13
	3600	8,92	12,09	1,23	7,93	10,75	1,10

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 25% mostraram um decréscimo de 0,05 kgf.m (4,13%) de torque nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 75% de diesel S-500 com 25% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja. Ocorreu a extensão dos valores da curva de torque nominal, mantendo-se constantes entre as rotações de 2000 rpm a 3200 rpm.

6.2.11 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 50%



Fonte: O autor

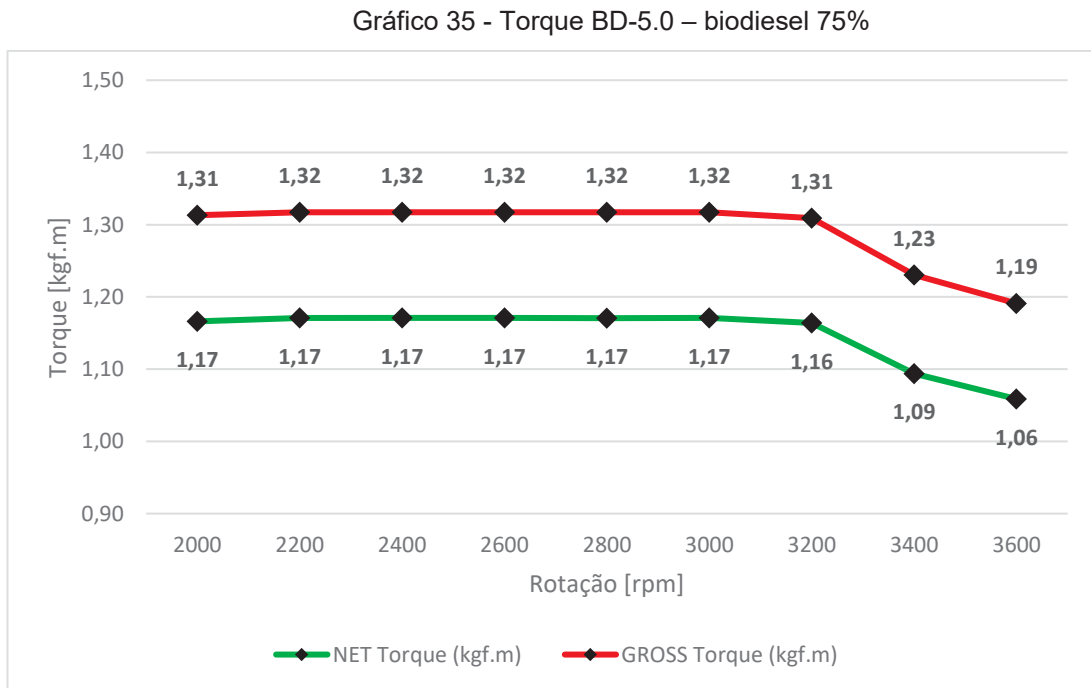
Tabela 42 - Torque BD-5.0 – biodiesel 50%

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	9,73	13,19	1,35	8,64	11,71	1,19
	2200	9,75	13,23	1,35	8,67	11,76	1,20
	2400	9,75	13,22	1,35	8,67	11,75	1,20
	2600	9,75	13,22	1,35	8,67	11,75	1,20
	2800	9,75	13,22	1,35	8,67	11,75	1,20
	3000	9,75	13,22	1,35	8,67	11,75	1,20
	3200	9,69	13,14	1,34	8,62	11,68	1,19
	3400	9,11	12,35	1,26	8,10	10,98	1,12
	3600	8,82	11,96	1,22	7,84	10,63	1,08

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 50% mostraram um decréscimo de 0,06 kgf.m (5,00%) de torque nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 50% de diesel S-500 com 50% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja. Ocorreu a extensão dos valores da curva de torque nominal, mantendo-se constantes entre as rotações de 2200 rpm a 3000 rpm.

6.2.12 GRÁFICO DA CURVA DE TORQUE BIODIESEL 75%



Fonte: O autor

Tabela 43 - Torque BD-5.0 – biodiesel 75%

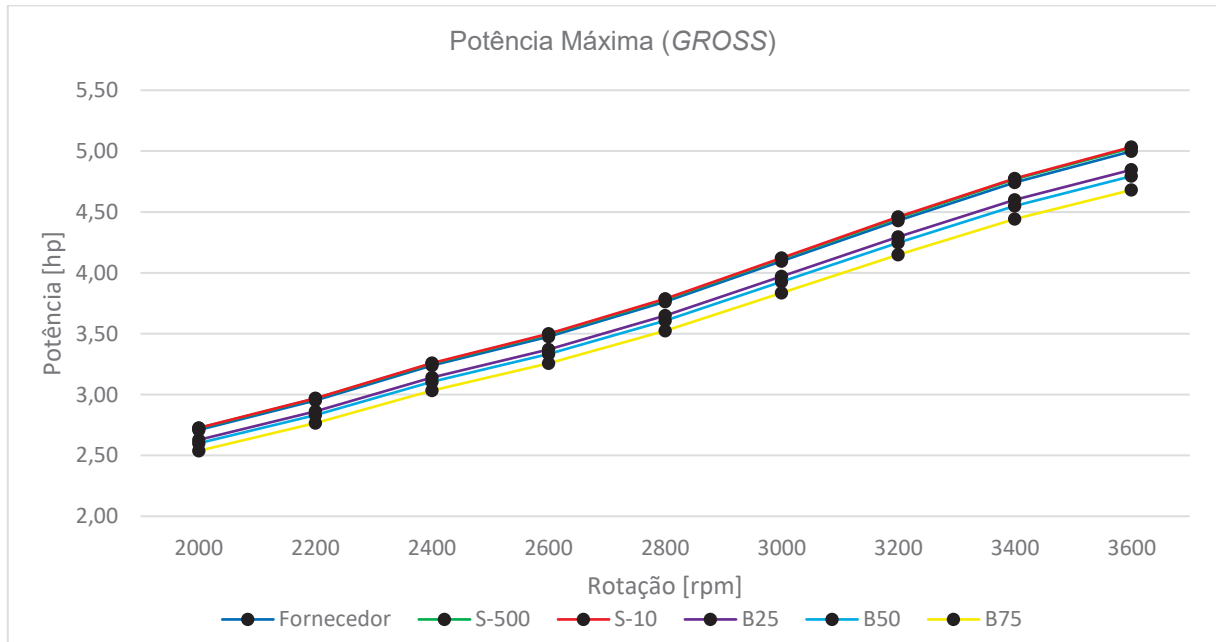
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (ft.lb)	GROSS Torque (N.m)	GROSS Torque (kgf.m)	NET Torque (ft.lb)	NET Torque (N.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	9,49	12,87	1,31	8,43	11,43	1,17
	2200	9,52	12,91	1,32	8,47	11,48	1,17
	2400	9,52	12,91	1,32	8,46	11,48	1,17
	2600	9,52	12,91	1,32	8,46	11,48	1,17
	2800	9,52	12,91	1,32	8,46	11,48	1,17
	3000	9,52	12,91	1,32	8,46	11,48	1,17
	3200	9,47	12,84	1,31	8,41	11,41	1,16
	3400	8,90	12,06	1,23	7,91	10,72	1,09
	3600	8,61	11,68	1,19	7,65	10,38	1,06

Fonte: O autor

O gráfico obtido no teste do biodiesel 75% mostraram um decréscimo de 0,09 kgf.m (7,69%) de torque nominal em relação ao diesel S-500. A blenda é composta por uma mistura de 25% de diesel S-500 com 75% de biodiesel derivado de óleo vegetal de soja. Ocorreu a extensão dos valores da curva de torque nominal, mantendo-se constantes entre as rotações de 2000 rpm a 3000 rpm.

6.2.13 CURVAS DE POTÊNCIA MÁXIMA CICLO DIESEL

Gráfico 36 – Potência Máxima do BD 5.0 – Ciclo Diesel



Fonte: O autor

Tabela 44 – Potência Máxima BD 5.0 – Ciclo Diesel

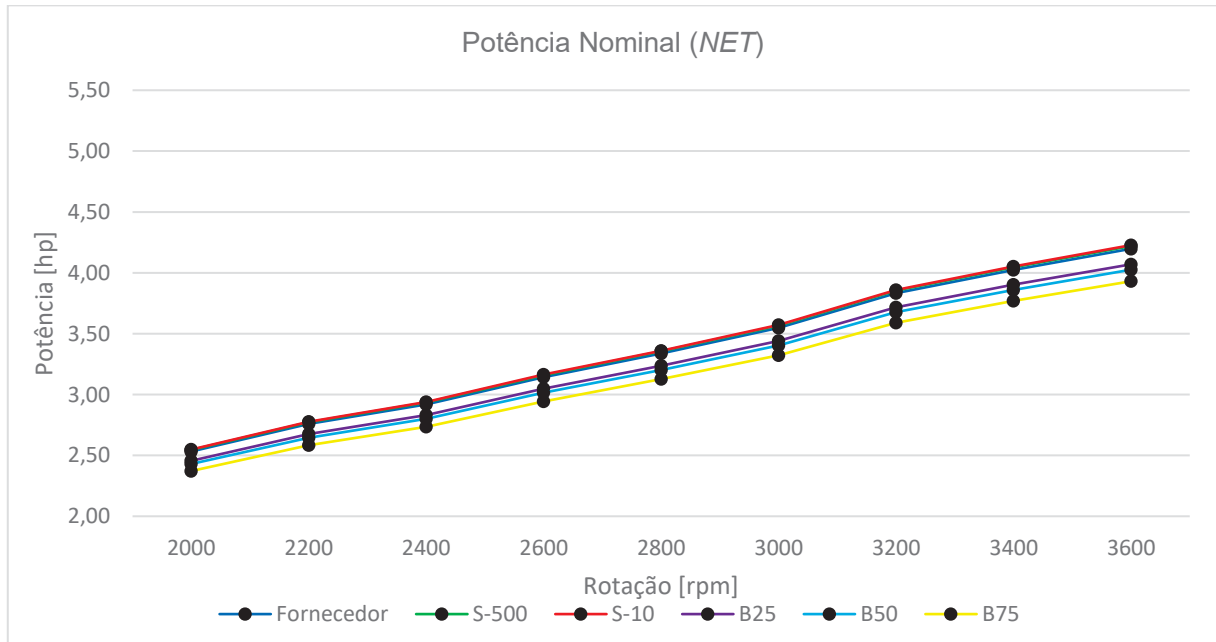
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)	GROSS Power (hp)
BD-5.0	2000	2,71	2,72	2,73	2,63	2,60	2,54
	2200	2,95	2,97	2,97	2,86	2,83	2,76
	2400	3,24	3,25	3,26	3,14	3,11	3,03
	2600	3,48	3,49	3,50	3,37	3,33	3,26
	2800	3,76	3,78	3,79	3,65	3,61	3,52
	3000	4,10	4,12	4,12	3,97	3,93	3,84
	3200	4,43	4,45	4,46	4,29	4,25	4,15
	3400	4,74	4,77	4,78	4,60	4,55	4,44
	3600	5,00	5,03	5,03	4,85	4,79	4,68
		Fornecedor	S-500	S-10	B25	B50	B75

Fonte: O autor

O gráfico 36 compara os valores de potência máxima ou bruta (*GROSS*) obtidos nos testes do motor BD-5,0 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.2.14 CURVAS DE POTÊNCIA NOMINAL CICLO DIESEL

Gráfico 37 – Potência Nominal do BD 5.0 – Ciclo Diesel



Fonte: O autor

Tabela 45 – Potência Nominal BD 5.0 – Ciclo Diesel

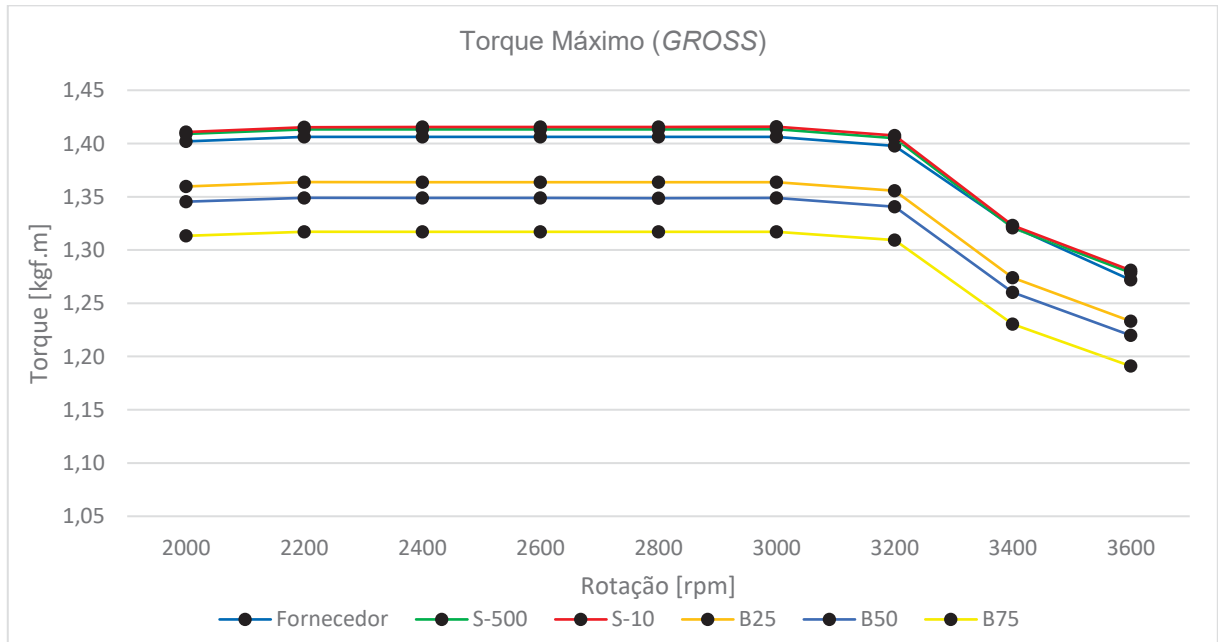
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)	NET Power (hp)
BD-5.0	2000	2,53	2,54	2,55	2,46	2,43	2,37
	2200	2,76	2,77	2,78	2,67	2,65	2,58
	2400	2,92	2,93	2,94	2,83	2,80	2,73
	2600	3,14	3,16	3,16	3,05	3,01	2,94
	2800	3,34	3,35	3,36	3,24	3,20	3,13
	3000	3,55	3,57	3,57	3,44	3,40	3,32
	3200	3,83	3,85	3,86	3,72	3,68	3,59
	3400	4,02	4,05	4,05	3,90	3,86	3,77
	3600	4,20	4,22	4,23	4,07	4,03	3,93
		Fornecedor	S-500	S-10	B25	B50	B75

Fonte: O autor

O gráfico 37 compara os valores de potência nominal ou líquida (*NET*) obtidos nos testes do motor BD-5,0 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.2.15 CURVAS DE TORQUE MÁXIMO CICLO DIESEL

Gráfico 38 – Torque Máximo do BD 5.0 – Ciclo Diesel



Fonte: O autor

Tabela 46 – Torque Máximo BD 5.0 – Ciclo Diesel

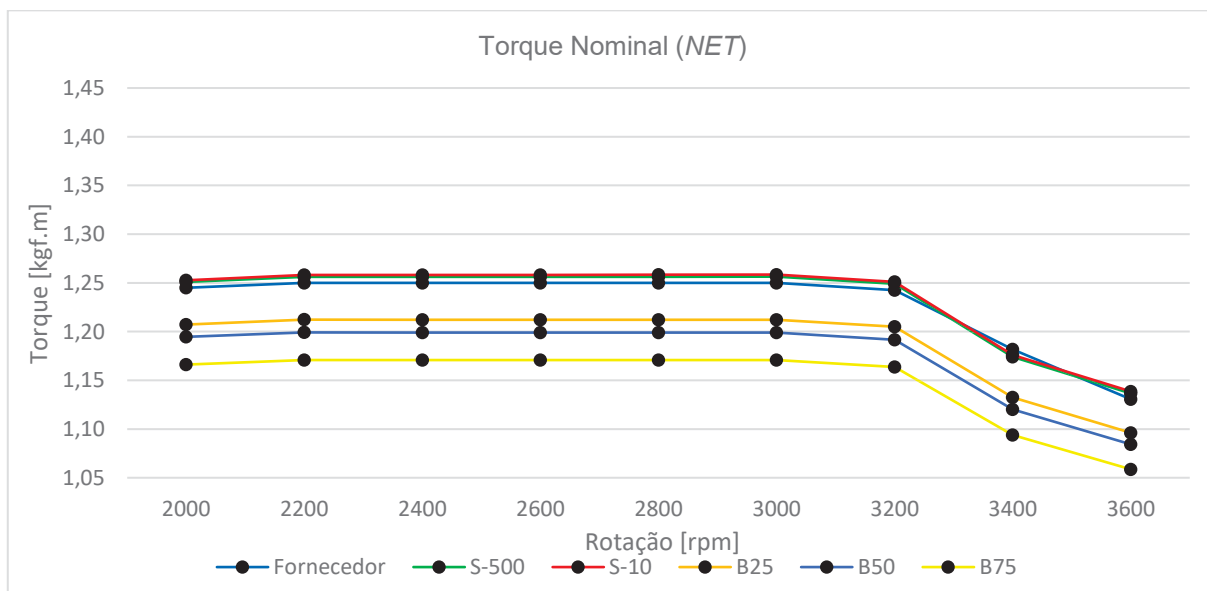
Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)	GROSS Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	2,53	2,54	2,55	2,46	2,43	2,37
	2200	2,76	2,77	2,78	2,67	2,65	2,58
	2400	2,92	2,93	2,94	2,83	2,80	2,73
	2600	3,14	3,16	3,16	3,05	3,01	2,94
	2800	3,34	3,35	3,36	3,24	3,20	3,13
	3000	3,55	3,57	3,57	3,44	3,40	3,32
	3200	3,83	3,85	3,86	3,72	3,68	3,59
	3400	4,02	4,05	4,05	3,90	3,86	3,77
	3600	4,20	4,22	4,23	4,07	4,03	3,93
		Fornecedor	S-500	S-10	B25	B50	B75

Fonte: O autor

O gráfico 38 compara os valores de torque máximo ou bruto (*GROSS*) obtidos nos testes do motor BD-5,0 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.2.16 CURVAS DE TORQUE NOMINAL CICLO DIESEL.

Gráfico 39 – Torque Nominal do BD 5.0 – Ciclo Diesel



Fonte: O autor

Tabela 47 – Torque Nominal BD 5.0 – Ciclo Diesel

Modelo	Rotação na carga máxima (rpm)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)	NET Torque (kgf.m)
BD-5.0	2000	1,24	1,25	1,25	1,21	1,19	1,17
	2200	1,25	1,26	1,26	1,21	1,20	1,17
	2400	1,25	1,26	1,26	1,21	1,20	1,17
	2600	1,25	1,26	1,26	1,21	1,20	1,17
	2800	1,25	1,26	1,26	1,21	1,20	1,17
	3000	1,25	1,26	1,26	1,21	1,20	1,17
	3200	1,24	1,25	1,25	1,21	1,19	1,16
	3400	1,18	1,17	1,18	1,13	1,12	1,09
	3600	1,13	1,14	1,14	1,10	1,08	1,06
		Fornecedor	S-500	S-10	B25	B50	B75

Fonte: O autor

O gráfico 39 compara os valores de torque nominal ou líquido (*NET*) obtidos nos testes do motor BD-5,0 com os combustíveis propostos e o dados informados pelo fornecedor.

6.3 NÍVEL DE RUÍDO

6.3.1 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA COMUM

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 17,802 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 71,319 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 83,248 \text{ dBA}$

Tabela 48: Teste com gasolina comum.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,310	0,355	0,325		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,155	1,1775	1,325	0,6625	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	72,5	71,3	70,5	71,43	13910198,7
Lateral 2	69,9	71,5	70,9	70,77	11930720,4
Lateral 3	72,8	70,8	70,9	71,50	14125375,4
Lateral 4	70,7	71,5	72,4	71,53	14234208,8
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	71,319				
Superfície virtual					
S (m ²)	17,802				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	83,824				

Fonte: O autor.

O nível de ruído utilizando a gasolina comum obteve as variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 69,9 dBA e o valor máximo de 72,8

dBA, uma variação de 4,14% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.2 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA ADITIVADA

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 17,802 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 71,420 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 83,924 \text{ dBA}$

Tabela 49: Teste com gasolina aditivada.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,310	0,355	0,325		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,155	1,1775	1,325	0,6625	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	69,9	71,3	71,6	70,93	12397477,6
Lateral 2	71,7	70,7	70,2	70,87	12208622,5
Lateral 3	71,5	73,1	70,9	71,83	15252229,6
Lateral 4	70,1	72,2	73,5	71,93	15607499,6
Pressão Sonora					
L_{pA} (dBA)	71,420				
Superfície virtual					
S (m ²)	17,802				
Potência sonora					
L_{WA} (dBA)	83,924				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando a gasolina comum obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 69,9 dBA e o valor máximo de 73,1 dBA, uma variação de 4,57% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.3 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA GASOLINA PODIUM®

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 17,802 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 71,769 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 84,274 \text{ dBA}$

Tabela 50: Teste com gasolina podium®.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,310	0,355	0,325		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,155	1,1775	1,325	0,6625	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	70,6	71,8	73,1	71,83	15252229,6
Lateral 2	70,9	71,8	70,5	71,07	12783997,2
Lateral 3	73,3	71,4	71,1	71,93	15607499,6
Lateral 4	71,2	72,4	72,9	72,17	16468978,7
Pressão Sonora					
L _{pa} (dBA)	71,769				
Superfície virtual					
S (m ²)	17,802				
Potência sonora					
L _{wa} (dBA)	84,274				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando a gasolina podium® obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 70,5 dBA e o valor máximo de 73,3 dBA, uma variação de 3,97% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.4 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA ETANOL

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 17,802 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 72,928 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 85,432 \text{ dBA}$

Tabela 51: Teste com etanol.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,310	0,355	0,325		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,155	1,1775	1,325	0,6625	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	71,2	73,5	72,8	72,50	17782794,1
Lateral 2	71,5	72,0	71,3	71,60	14454397,7
Lateral 3	73,5	74,1	71,4	73,00	19952623,1
Lateral 4	74,2	72,3	71,1	74,20	26302679,9
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	72,928				
Superfície virtual					
S (m ²)	17,802				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	85,432				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o etanol obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 71,1 dBA e o valor máximo de 74,2 dBA, uma variação de 4,36% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.5 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA DIESEL S-500

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 19,415 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 80,054 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 92,935 \text{ dBA}$

Tabela 52: Teste com diesel S-500.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,400	0,350	0,450		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,200	1,175	1,45	0,725	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	79,8	80,1	79,8	79,90	97723722,1
Lateral 2	79,5	80,9	80,5	80,30	107151931
Lateral 3	79,7	81,2	79,5	80,13	103117727
Lateral 4	79,3	80,7	79,6	79,87	96976535,9
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	80,054				
Superfície virtual					
S (m ²)	19,415				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	92,935				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o Diesel S-500 (comum) obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 79,3 dBA e o valor máximo de 81,2 dBA, uma variação de 2,39% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.6 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA DIESEL S-10

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 19,415 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 80,120 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 93,001 \text{ dBA}$

Tabela 53: Teste com diesel S-10.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,400	0,350	0,450		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,200	1,175	1,45	0,7250	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	79,9	80,3	79,4	79,87	96976535,9
Lateral 2	79,7	81,0	80,7	80,47	111343961
Lateral 3	79,8	80,8	80,5	80,37	108809463
Lateral 4	79,5	80,5	79,2	79,73	94044485,2
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	80,120				
Superfície virtual					
S (m ²)	19,415				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	93,001				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o Diesel S-10 obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 79,2 dBA e o valor máximo de 81,0 dBA, uma variação de 2,27% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.7 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 25%

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 19,415 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 80,664 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 93,546 \text{ dBA}$

Tabela 54: Teste com Biodiesel 25%.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,400	0,350	0,450		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,200	1,175	1,45	0,7250	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	80,2	80,5	79,7	80,13	103117727
Lateral 2	80,2	81,0	81,2	80,80	120226443
Lateral 3	80,9	79,9	80,2	80,33	107977516
Lateral 4	80,1	79,4	80,8	80,10	102329299
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	80,351				
Superfície virtual					
S (m ²)	19,415				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	93,232				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o biodiesel 25% obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 79,4 dBA e o valor máximo de 81,2 dBA, uma variação de 2,26% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.8 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 50%

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 19,415 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 80,664 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 93,546 \text{ dBA}$

Tabela 55: Teste com Biodiesel 50%.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,400	0,350	0,450		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,200	1,175	1,45	0,7250	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA)	Medição 2 (dBA)	Medição 3 (dBA)	Média (dBA)	Expo.
	Slow	Slow	Slow	Slow	
Lateral 1	80,2	80,7	80,5	80,47	111343961
Lateral 2	80,8	81,0	81,2	81,00	125892541
Lateral 3	80,3	81,0	80,9	80,73	118394992
Lateral 4	80,9	79,9	80,5	80,43	110492636
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	80,664				
Superfície virtual					
S (m ²)	19,415				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	93,546				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o biodiesel 50% obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 79,9 dBA e o valor máximo de 81,2 dBA, uma variação de 1,62% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.3.9 CÁLCULO DE PRESSÃO E POTÊNCIA SONORA BIODIESEL 75%

Foram utilizadas três equações para obtenção dos valores, sendo:

- Equação (13) para a determinação da superfície de medição;
 $S = 19,415 \text{ m}^2$
- Equação (9) para a determinação da pressão sonora;
 $L_{pA} = 81,766 \text{ dBA}$
- Equação (14) para a determinação da potência sonora;
 $L_{WA} = 94,647 \text{ dBA}$

Tabela 56: Teste com Biodiesel 75%.

Cálculo de Pressão e Potência Sonora - Superfície Virtual Retangular					
	Lateral = L1	Lateral = L2	Altura = L3		
Dimensões do equipamento (m)	0,400	0,350	0,450		
Distância de medição tomando como referência o plano vertical paralelo a lateral do equipamento (Preferencialmente 1m)	1,00				
	a	b	c	h	
Cálculo da Superfície de medição	1,200	1,175	1,45	0,7250	
Medição de Ruído	Medição 1 (dBA) Slow	Medição 2 (dBA) Slow	Medição 3 (dBA) Slow	Média (dBA) Slow	Expo.
Lateral 1	81,9	81,1	81,7	81,57	143438808
Lateral 2	82,5	81,9	82,1	82,17	164689787
Lateral 3	81,7	82,3	81,3	81,77	150198870
Lateral 4	81,3	81,5	81,8	81,53	142342088
Pressão Sonora					
Lpa (dBA)	81,766				
Superfície virtual					
S (m ²)	19,415				
Potência sonora					
Lwa (dBA)	94,647				

Fonte: O autor

O nível de ruído utilizando o biodiesel 75% obteve a variações durante a aferição das medidas, sendo o valor mínimo de 81,1 dBA e o valor máximo de 82,5 dBA, uma variação de 1,72% entre as aferições, se mantendo abaixo de 5%, utilizado como referência pelo equipamento e condições do local de teste.

6.4 NÍVEL DE EMISSÕES

Os valores das emissões foram aferidos, sem considerar a variação da relação ar-combustível de cada um dos ensaios. Isso interfere principalmente quando há trocas do combustível. Assim como na base de emissões específica, gramas do poluente por trabalho produzido.

Valores obtidos com o analisador de gás de combustão, Madur GA-12.

Tabela 57: Resultados do motor ignição por centelha.

Ciclo Otto	Emissões de gases	
Combustível	CO(ppm)	NOx(ppm)
Gasolina Comum	118	68
Gasolina Aditivada	117	75
Gasolina Podium®	115	79
Etanol	35	12

Fonte: O autor

Tabela 58: Resultados do motor ignição por compressão

Ciclo Diesel	Emissões de gases	
Combustível	CO(ppm)	NOx(ppm)
Diesel S-500	244	151
Diesel S-10	232	142
Biodiesel 25%	152	136
Biodiesel 50%	111	129
Biodiesel 75%	105	117

Fonte: O autor

Obs. Equipamento fornecido pelo laboratório de máquinas térmicas da UFPR.

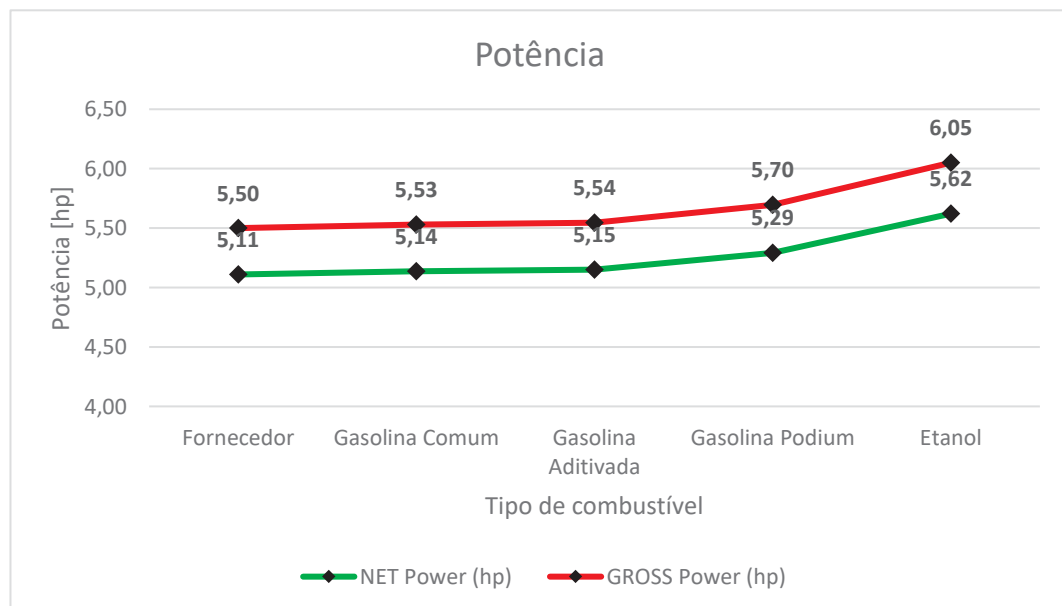
6.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 6

Neste capítulo foram apresentados os tópicos seguindo a ordem: o dinamômetro e seu princípio de funcionamento; as normas e os métodos para a realização dos testes dos motores; cálculos da capacidade cúbica e taxa de compressão dos motores; as alterações realizadas para conversão do motor ciclo Otto para o etanol e os resultados dos testes dos combustíveis propostos, considerando os quatro tipos para o motor de ignição por centelha (ciclo Otto) e cinco tipos para o motor de ignição por compressão (ciclo Diesel).

6.5.1 MOTOR CICLO OTTO

Os resultados de potência líquida ou nominal (*NET*) e os resultados de potência bruta ou máxima (*GROSS*) do motor ciclo Otto, foram obtidos na rotação de 3600rpm e apresentados no gráfico 30.

Gráfico 40 - Potência B4T-5.5 – ciclo Otto



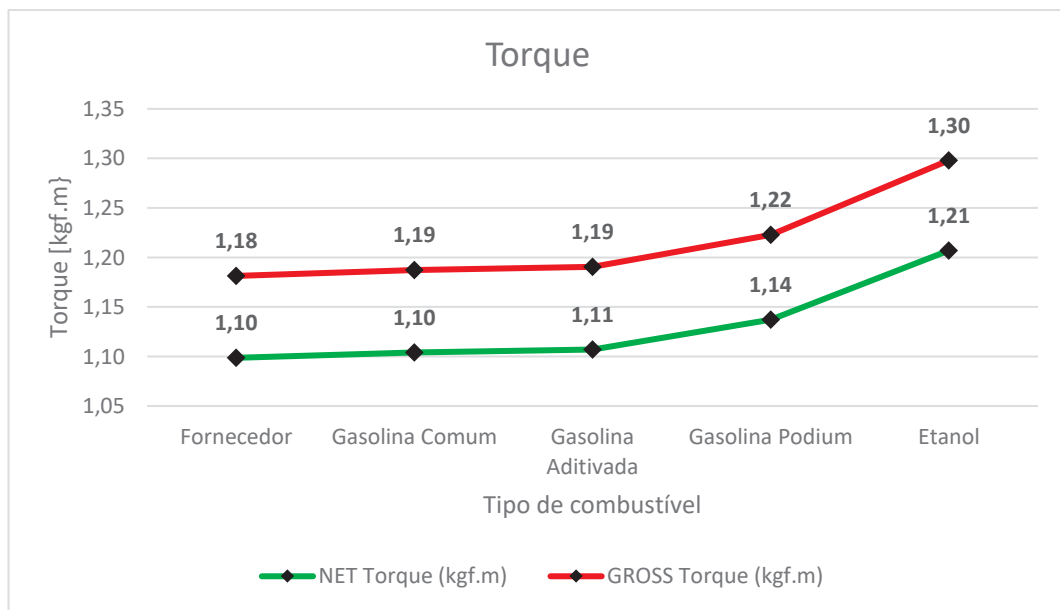
Fonte: O autor

Os valores são de ordem crescente, variando de acordo com especificação da gasolina testada. O último valor a direita mostra o resultado do combustível etanol, o qual mostrou um acréscimo de 0,48 hp na potência nominal em relação ao valor

obtido com gasolina comum. O etanol é o único desse grupo considerado renovável e se mostra uma opção interessante, quando se trata de potência.

Os resultados de torque líquido ou nominal (*NET*) e de torque bruto ou máximo (*GROSS*) do motor ciclo Otto, foram obtidos na rotação de 2600rpm e apresentados no gráfico 31. Os valores de torque mantiveram a mesma ordem crescente dos valores de potência, variando os valores de acordo com especificação do combustível testado.

Gráfico 41 - Torque B4T-5.5 – ciclo Otto



Fonte: O autor

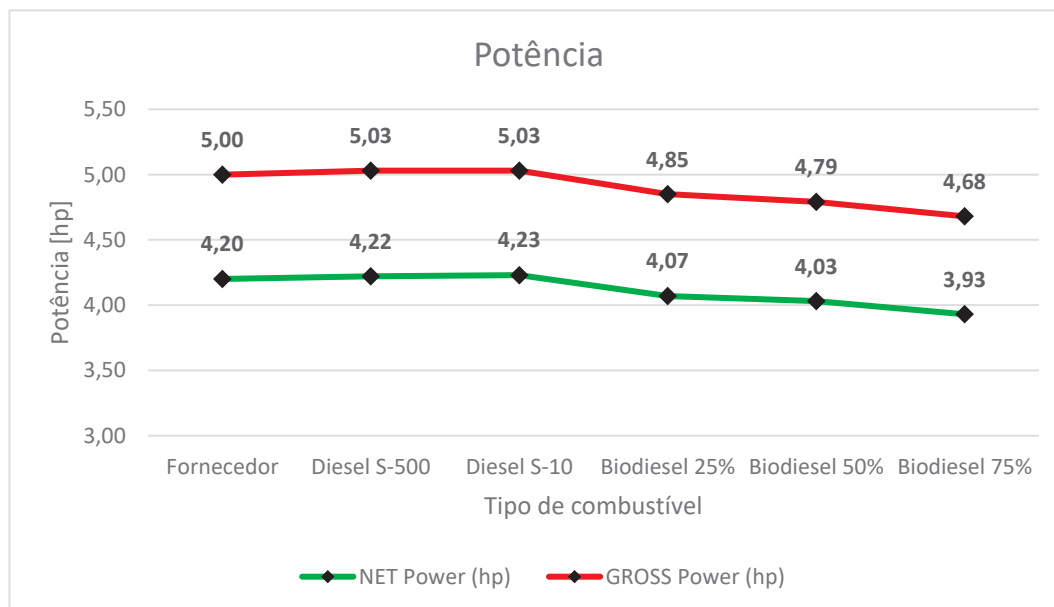
6.5.2 MOTOR CICLO DIESEL

Os resultados de potência líquida ou nominal (*NET*) e os resultados de potência bruta ou máxima (*GROSS*) do motor ciclo Diesel, foram obtidos na rotação de 3600rpm e apresentados no gráfico 34.

Os valores são de ordem crescente para os combustíveis diesel S-500 e S10, e decrescentes a medida que o percentual da mistura de biodiesel aumenta. Os valores de potência líquida, a 3600 rpm, decaem cerca de 3,68% para a blenda biodiesel 25%, 4,71% para a mistura biodiesel 50% e 7,38% para a blenda biodiesel 75% e os valores de torque líquido, a 2600 rpm, decaem cerca de 4,13% para a blenda biodiesel 25%, 5,00% para a blenda biodiesel 50% e 7,69% para a blenda biodiesel

75%, quando comparados aos valores do diesel comum S-500, utilizado como referência.

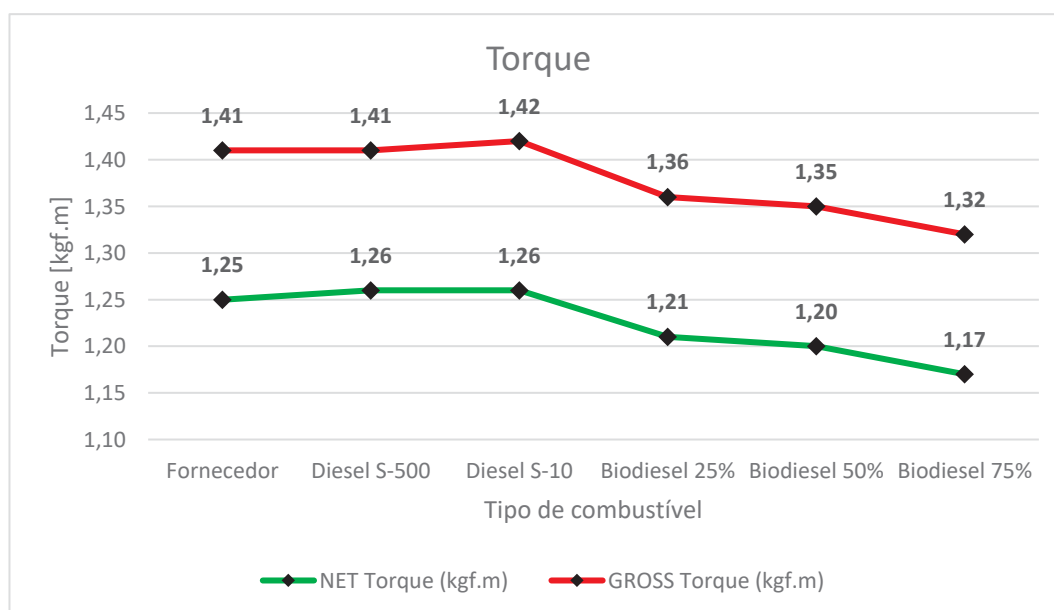
Gráfico 42 - Potência BD-5.0 – ciclo Diesel



Fonte: O autor

Os resultados de torque líquido ou nominal (*NET*) e de torque bruto ou máximo (*GROSS*) do motor ciclo Diesel, foram obtidos na rotação de 2600 rpm e apresentados no gráfico 33.

Gráfico 43 - Torque BD-5.0 – ciclo Diesel

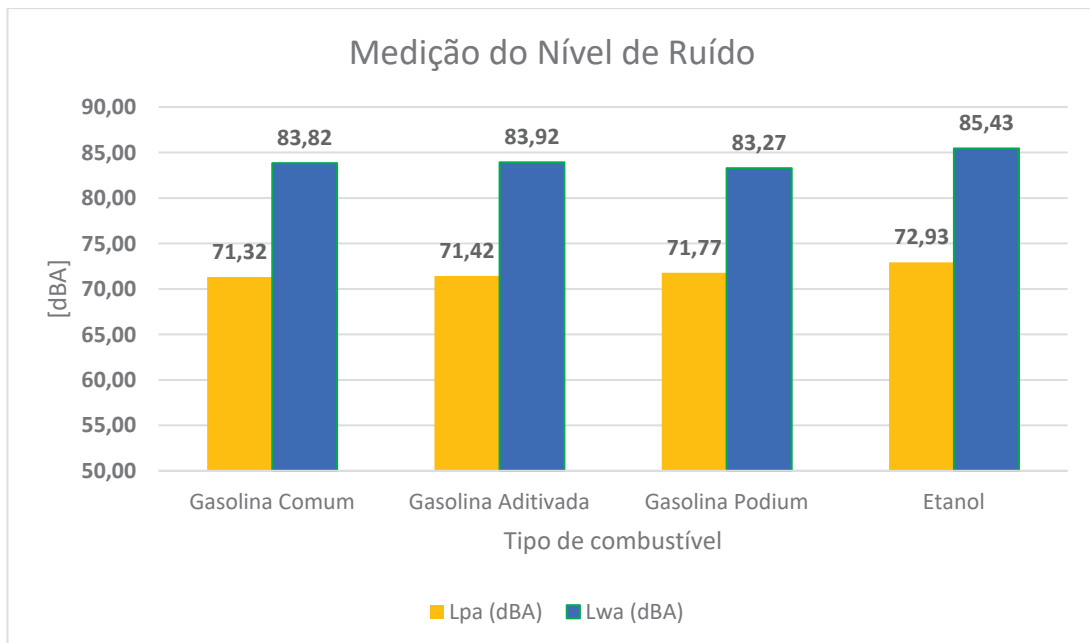


Fonte: O autor

6.5.3 NÍVEL DE RUIDO

Para o motor de ignição por centelha (ciclo Otto) as alterações de combustíveis (considerando os quatro tipos testados) apresentou uma variação pequena (imperceptível ao ouvido humano). A variação da pressão sonora (L_{pa}) foi de 1,609 dBa, que representa um valor de 2,256% de variação entre o valor mínimo de 71,319 dBA e o valor máximo de 72,928 dBA. A variação da potência sonora (L_{wa}) foi de 1,608 dBa, que representa um valor de 1,918% entre o valor mínimo de 83,824 dBA e o valor máximo de 85,432 dBA.

Gráfico 44: Resultados do motor ignição por centelha.

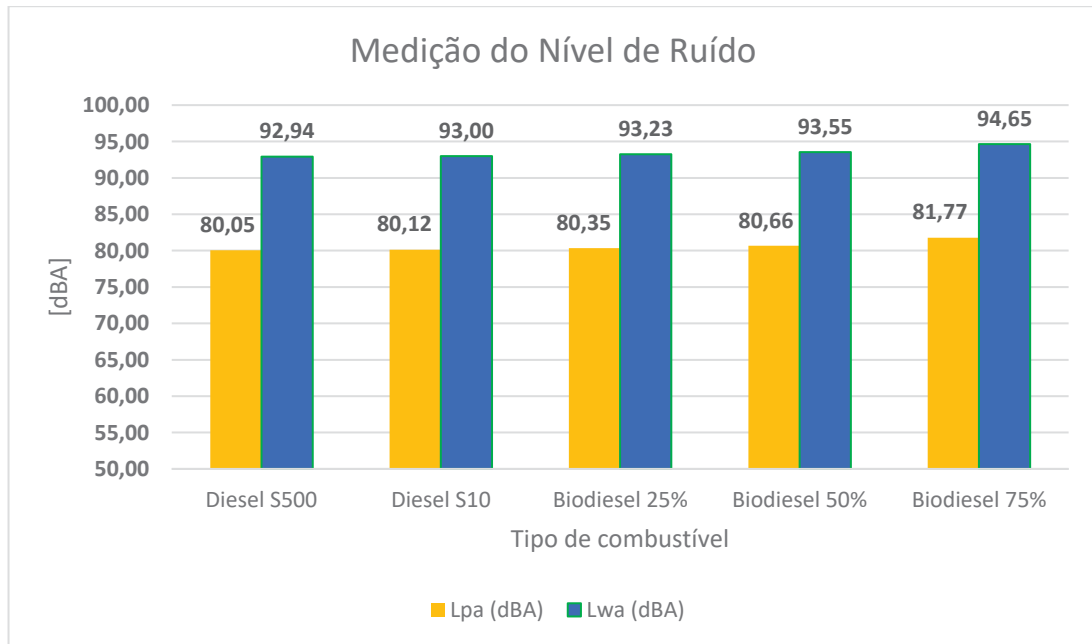


Fonte: O autor

Nota: A gasolina Podium® possui 25% de etanol em sua composição.

Para o motor de ignição por compressão (ciclo Diesel) a alteração de combustíveis (considerando os cinco tipos testados) apresentou uma variação pequena (imperceptível ao ouvido humano). Para a pressão sonora foi de 1,711 dBa, que representa um valor de 2,137% de variação entre o valor mínimo de 80,054 dBA e o valor máximo de 81,765 dBA. Para a potência sonora foi de 1,712 dBa, que representa um valor de 1,842% entre o valor mínimo de 92,935 dBA e o valor máximo de 94,647 dBA.

Gráfico 45: Resultados do motor ignição por compressão.



Fonte: O autor

O motor de ignição por centelha (ciclo Otto) apresentou valores médios de 71,86dBA para a pressão sonora e 84,11dBA para a potência sonora.

O motor de ignição por compressão (ciclo Diesel) apresentou valores médios de 80,59dBA para a pressão sonora e 93,47dBA para a potência sonora.

Devido a diferentes características dos projetos dos motores (Otto x Diesel) o motor ciclo Diesel possui nível de ruído maior, cerca de 9dBA mais elevado que o motor ciclo Otto.

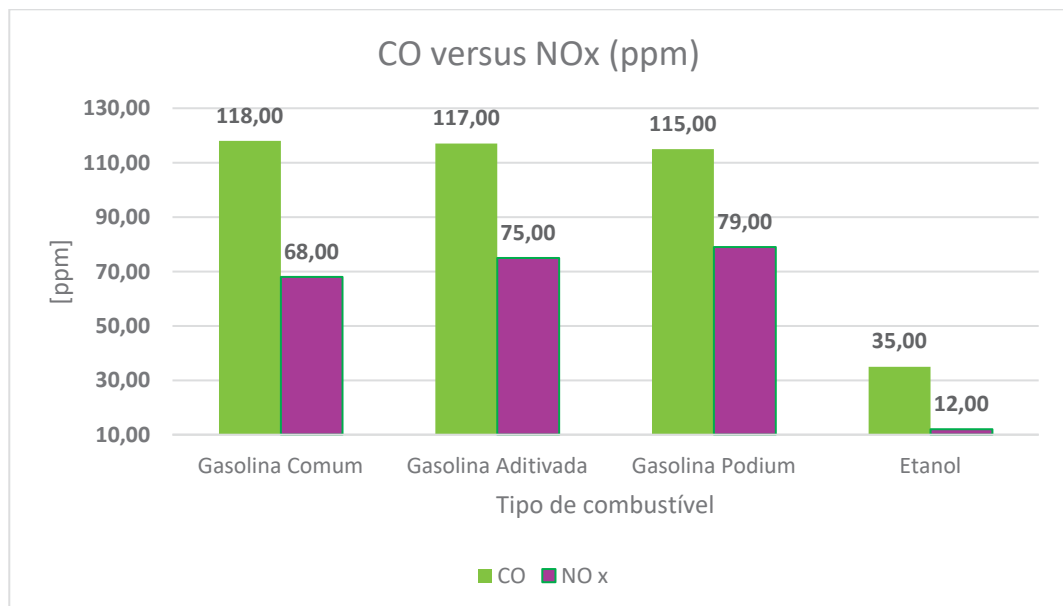
6.5.4 EMISSÕES

Para o motor de ignição por centelha as alterações de combustíveis (considerando os três tipos de gasolinas testadas) apresentaram uma variação mínima nos valores de emissões de CO e NOx. O decréscimo de CO foi de 1 ppm para gasolina aditiva em relação a gasolina comum, que representa um valor de 0,847% de variação entre o valor mínimo de 117 ppm e o valor máximo de 118 ppm. Para NOx ocorreu o acréscimo foi de 7 ppm, que representa um valor de 9,33% entre o valor mínimo de 68 ppm e o valor máximo de 75 ppm.

A gasolina podium® mostrou o decréscimo de CO foi de 3 ppm em relação a gasolina comum, que representa um valor de 2,54% de variação entre o valor mínimo de 115 ppm e o valor máximo de 118 ppm. Para NOx ocorreu o acréscimo foi de 11 ppm, que representa um valor de 13,92% entre o valor mínimo de 68 ppm e o valor máximo de 79 ppm.

O etanol mostrou o decréscimo de CO foi de 83 ppm em relação a gasolina comum, que representa um valor de 70,34% de variação entre o valor mínimo de 35 ppm e o valor máximo de 118 ppm. Para NOx ocorreu o decréscimo foi de 56 ppm, que representa um valor de 82,35% entre o valor mínimo de 12 ppm e o valor máximo de 68 ppm

Gráfico 46: Resultados das emissões motor ignição por centelha.



Fonte: O autor

O resultado mais expressivo foi a redução no nível de poluentes do motor movido a etanol, mostrando-se uma alternativa viável, menos poluente em relação aos motores movidos com combustíveis fósseis, no caso do trabalho os três tipos de gasolina comercializadas no mercado nacional.

Para o motor ciclo Diesel as alterações de combustíveis (considerando os cinco tipos testadas) apresentaram uma variação mínima nos valores de emissões de CO e NOx para o Diesel comum (S-500) e o diesel (S-10). O decréscimo de CO foi de 12 ppm, que representa um valor de 4,92% de variação entre o valor mínimo de 232

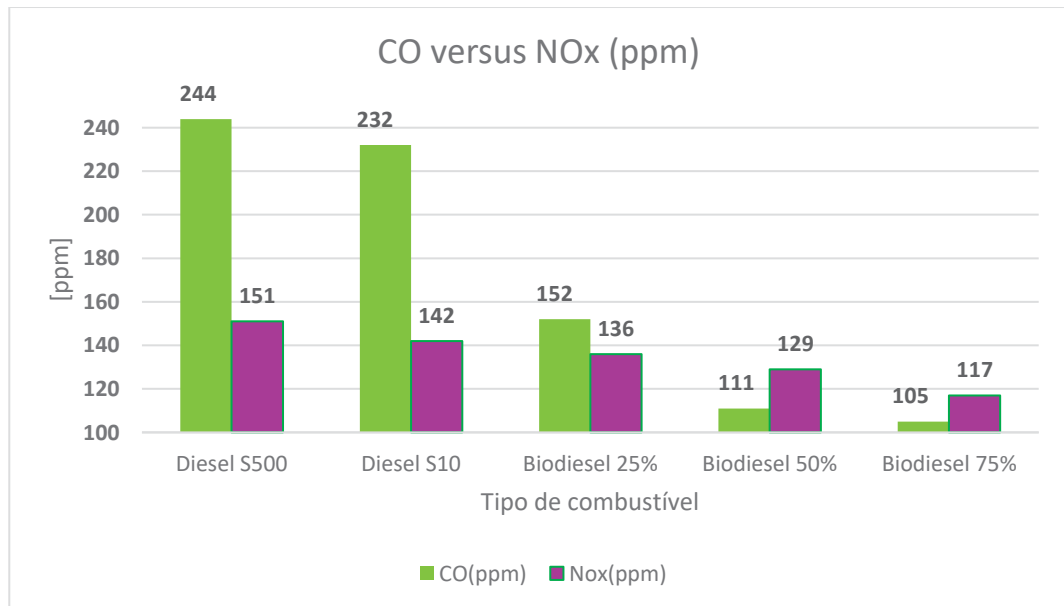
ppm e o valor máximo de 244 ppm. A variação de NOx foi de 56 ppm, que representa um valor de 5,96% entre o valor mínimo de 151 ppm e o valor máximo de 142 ppm.

Em relação as misturas de biodiesel, o decréscimo foi significativo. O decréscimo CO em comparação ao diesel S500 para o biodiesel 25% (B25) foi de 92 ppm, que representa um valor de 37,70% de variação entre o valor mínimo de 152 ppm e o valor máximo de 244 ppm. O decréscimo de NOx foi de 15 ppm, que representa um valor de 9,93% entre o valor mínimo de 136 ppm e o valor máximo de 151 ppm.

O decréscimo de CO em comparação ao diesel S500 para o biodiesel 50% (B50) foi de 133 ppm, que representa um valor de 54,50% de variação entre o valor mínimo de 111 ppm e o valor máximo de 244 ppm. O decréscimo de NOx foi de 15 ppm, que representa um valor de 14,57% entre o valor mínimo de 129 ppm e o valor máximo de 151 ppm.

O decréscimo de CO em comparação ao diesel S500 para o biodiesel 75% (B75) foi de 139 ppm, que representa um valor de 56,96% de variação entre o valor mínimo de 105 ppm e o valor máximo de 244 ppm. O decréscimo de NOx foi de 34 ppm, que representa um valor de 22,51% entre o valor mínimo de 117 ppm e o valor máximo de 151 ppm.

Gráfico 47: Resultados das emissões motor ignição por compressão.



Fonte: O autor

O resultado mais expressivo foi a redução no nível de poluentes do motor movido a biodiesel, mostrando-se uma alternativa viável, menos poluente em relação aos motores movidos com combustíveis fósseis, no caso do trabalho os dois tipos de diesel comercializadas no mercado nacional.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo a obtenção dos valores das curvas de potência, curvas de torque, aferições dos níveis de ruídos e aferições das emissões dos gases dos motores, assim como realizar uma pesquisa de mercado para analisar o potencial do mercado para combustíveis renováveis, como etanol e biodiesel, em motores a gasolina e a diesel, bem como verificar os resultados de testes realizados nos motores estacionários utilizando os combustíveis nacionais da marca Petrobrás, sendo: gasolina comum, gasolina aditivada, gasolina podium®, etanol, diesel S-500 e diesel S-10 e biodiesel extraído de óleo de soja, feito em laboratório, proporcionando as misturas de biodiesel (B25, B50 e a B75). Propondo um comparativo dos resultados dos testes dos motores com os dados fornecidos pelo fabricante chinês, utilizando combustíveis chineses.

A respeito da análise de mercado, o escopo da pesquisa considerou fatores como as regiões do país, público-alvo, oportunidades, benefícios, tamanho de mercado e preço do combustível, esse último sendo identificado como o fator decisivo de compra do motor (com 66% de impacto) pelo cliente final.

Outro ponto foi o interesse das regiões, de maior impacto, que demonstraram uma aceitação média de 11,8% para esse motor movido a combustíveis renováveis. Sendo uma alternativa no mercado de motores a combustão, criando uma oportunidade de negócio, visando a menor emissões de particulados, com menor índice de poluição e com o argumento de energia limpa.

Em relação ao primeiro objetivo específico que consistiu em realizar o teste dos motores de ignição por centelha (ciclo Otto), a gasolina B4T-5.5cv (com os combustíveis propostos) e o motor B4T-5.5cv convertido para o etanol. Juntamente com o motor a diesel BD-5.0cv ignição por compressão (ciclo Diesel) com os combustíveis propostos no dinamômetro do laboratório do setor de engenharia da Branco Motores Ltda., seguindo a norma SA SAE J1995 e SAE J1940,

Para o motor ciclo Otto a gasolina, os resultados de potência foram de ordem crescente, variando de acordo com a especificação da gasolina testada. Comparando o motor a gasolina comum com o motor a etanol, houve um acréscimo de 0,48hp na potência. O etanol é considerado renovável e se mostra uma opção interessante, quando se trata de potência e torque. Os valores de torque mantiveram a mesma

ordem crescente dos valores de potência, variando os valores de acordo com especificação do combustível testado.

Os testes do motor Diesel obtiveram valores de potência de ordem crescente somente para os combustíveis diesel S-500 e S10, e decrescentes a medida que o percentual da blenda de biodiesel aumenta. Os valores de potência líquida decaem cerca de 3,68% para a blenda biodiesel 25%, 4,71% para a blenda biodiesel 50% e 7,38% para a blenda biodiesel 75% e os valores de torque líquido, a 2600rpm, decaem cerca de 4,13% para a blenda biodiesel 25%, 5,00% para a blenda biodiesel 50% e 7,69% para a blenda biodiesel 75%, quando comparados aos valores do diesel comum S-500, utilizado como referência.

O segundo objetivo específico era realizar o teste de nível de ruído nos motores com os diferentes combustíveis, de acordo com norma ABNT NBR ISO 8528-10. O nível de ruído foi aferido com o medidor de nível sonoro – RadioShack 33-2055, usando os valores das medições para o cálculo da pressão sonora (L_{pa}) e da potência sonora (L_{wa}). Obtiveram valores médios de 71,86dBA para a pressão sonora e 84,11dBA para a potência sonora, considerando o ciclo Otto e valores médios de 80,59dBA para a pressão sonora e 93,47dBA para a potência sonora para o ciclo diesel. Conclui-se que, devido a diferentes características dos projetos dos motores (Otto x Diesel), o motor ciclo Diesel possui nível de ruído maior, cerca de 9dBA mais elevado que o motor ciclo Otto.

O terceiro objetivo específico foi realizar o teste de nível de emissões nos motores com os diferentes combustíveis, de acordo com norma NBR 5484 (Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão - ciclo Diesel - e por centelha - ciclo Otto - de velocidade angular variável). Utilizando o analisador de gás de combustão – Madur GA-12, aferiu-se os níveis de CO e de NOx dos motores. O resultado foi a redução no nível de poluentes do motor movido a etanol, índice de CO 70,34% menor e o de NOx 82,35% menor em comparação ao motor a gasolina comum, mostrando-se uma alternativa menos poluente em relação a gasolina.

Para o ciclo Diesel o resultado foi a redução no nível de poluentes do motor movido a biodiesel, índice de CO 56,96% menor e o de NOx 22,51% menor em comparação ao motor a diesel, mostrando-se uma alternativa menos poluente em relação ao diesel.

O quarto objetivo específico foi avaliar os resultados dos testes, realizando um comparativo das curvas de potência, de torque, de nível de ruído e de emissões

de acordo com cada combustível testado. Os motores testados com combustíveis convencionais (tipos de gasolinas e tipos diesel), obtiveram resultados positivos, com pouca variação nos resultados, pois a alteração nas especificações dos combustíveis nacionais eram mínimas. Já para os motores testados com os combustíveis renováveis (etanol e biodiesel) obtiveram resultados positivos de um modo geral. Comparando todo o conjunto de testes (potência, torque, nível de ruído e emissões), para o ciclo Otto, não há ressalvas sobre a superioridade da eficiência do etanol (exceto no nível de ruído, sendo a diferença é imperceptível ao ouvido humano), já sobre o ciclo diesel, deve-se considerar a perda de potência, a perda de torque, o aumento o nível e ruído (diferença é imperceptível ao ouvido humano) a favor do decréscimo significativo dos valores das emissões de CO.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após os testes realizados, nota-se que o nível de emissões é alto, isso devido a tecnologia antiga aplicada no projeto do motor. Por se tratar de um projeto antigo, quando foi desenvolvido não havia preocupações com as emissões desses motores carburados ou com bomba injetora mecânica.

- Criação de um sistema de filtragem de baixo custo para reduzir as emissões dos motores;
- Elaboração de um abafador, para reduzir o ruído, sem grande perda na potência;
- Realizar testes de durabilidade (longa duração) para verificar a resistência dos motores quando expostos aos novos combustíveis (etanol e biodiesel);

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 8528-2, **Grupos geradores de corrente alternada acionados por motores alternativos de combustão interna – Parte 2: Motores**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/34643/abnt-nbriso8528-2-grupos-geradores-de-corrente-alternada-acionados-por-motores-alternativos-de-combustao-interna-parte-2-motores>>. Acesso em: jul. 2022

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, **Preços de revenda e distribuição de combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-daconcorrencia/precos/precos-revenda-e-distribuicao-combustiveis/levantamento-de-precos-de-combustiveis>>. Acesso em: nov. 2022

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, **Produção de derivados de petróleo e processamento de gás natural/gasolina**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-daconcorrencia/precos/precos-revenda-e-distribuicaocombustiveis/levantamento-de-precos-de-combustiveis>>. Acesso em: nov. 2022

APOIO SISCORI, **Consultajsf**. Disponível em: <<https://siscori.receita.fazenda.gov.br/apoiosiscori/consulta.jsf>>. Acesso em: jul. 2022

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO - BNDES, **Finame**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/finame>>. Acesso em: abr. 2022

BEHAR, M. **Motores Diesel**. 4ª edição. São Paulo: Editora Hemus, v.1, 1978

BRANCO MOTORES, **Catálogos de Produtos 2022**. Disponível em: <https://www.branco.com.br/la/pt_br/produtos/motores.html>. Acesso em: jul. 2023

BRANCO MOTORES, **Catálogos de Produtos 2023**. Disponível em: <https://www.branco.com.br/la/pt_br/produtos/motores.html>. Acesso em: jul. 2023

BRANCO MOTORES, **Treinamentos Técnicos 2023**. Disponível em: <<http://treinamentosbranco.eadbox.com>>. Acesso em: jul. 2023

BRIGGS&STRATTON, **Catálogos digitais de Produtos 2023**. Disponível em: <https://www.briggsandstratton.com/la/pt_br/support/digital-product-catalog.html>. Acesso em: jul. 2023

BRIGGS&STRATTON, **Produtos**. Disponível em: <https://www.briggsandstratton.com/la/pt_br/products.html>. Acesso em: jul. 2023

BRIGGS&STRATTON, **Treinamentos Técnicos 2023**. Disponível em: <<http://treinamentosbranco.eadbox.com>>. Acesso em: jul. 2023

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, v.1, 2012

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, v.2, 2012

CROKER, M. J., ARENAS, J.P. **Fundamentals of the Direct Measuremet of Sound Intensity and Pratical Applications**: Acoustical Physics. 2. ed., v. 49, 2003

DERMIBAS, A. **Biodisel**: A realistic fuel alternative for diesel engines. Editora Springer, 2008

DIESELNET, **China Fuels**. Disponível em: <<https://dieselnet.com/standards/cn/fuel.php#petrol>>. Acesso em: jun. 2022

FAHY, F. J. **Sound Intensity**. London: Elsevier Applied Science, 1989.

FRANKLIN, E. M. **Desempenho de um Motor de Combustão Interna**. Experimento no Laboratório de Calor e Fluidos II - Curso de Engenharia Mecânica, FEM Unicamp, Campinas, 2015. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~franklin/EM886/Exp1_motor_altern.pdf>. Acesso em: jan. 2023

HANSEN, M. **Proposição de um método para avaliação do adicional de emissões veiculares em partida a frio**. 2008. 117f. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion fundamentals**. 1. ed. McGraw: Hill Education, 1988

ISO 3046-1:1995, **Reciprocating Internal Combustion Engines--Performance--Part 1**: Standard Reference Conditions, Declarations of Power, Fuel and Lubricating Oil Consumptions, and Test Methods (Cancelled Apr 2005) J3046/1_200504. Disponível em: <https://www.sae.org/standards/content/j3046/1_200504/>. Acesso em: jun. 2022

ISO 3744:1994, Acoustics – **Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure** – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/9240.html>>. Acesso em: jun. 2022

ISO 3746:1995, Acoustics – **Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure** – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/21154.html>>. Acesso em: jun. 2022

JACOBSEN, F. **An Overview of the Sources of Error in Sound Power Determination Using the Intensity Technique**, 1997

KNOTHE, G., VAN GERPEN, J. KRAHL, J. **The biodiesel handbook**. 2. ed. Illinois: AOCS Press; 2010

LANE, J. C. **Gasoline and Other Motor Fuels**: Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology. 3 ed, v.11, Nova York: John Wiley & Sons, 1980

LOPES, M.; SERRANO, L.; RIBEIRO, I.; CASÇÃO, P.; PIRES, N.; RAFAEL, S.; TARELHO, L.; MONTEIRO, A.; NUNES, T.; EVTYUGINA, M.; NIELSEN, O. J.; SILVA, M. G. da; MIRANDA, A. I.; BORREGO, C. Emissions characterization form EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the New European Driving Cycle. **Atmospheric Environment**, 2014. 84,339-348 p.

MARTINS, J. **Motores de Combustão Interna**, 5. ed., Publindústria, Porto, 2016

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Biodiesel**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: mai, 2022

NBR 5484 (Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão - ciclo Diesel - e por centelha - ciclo Otto - de velocidade angular variável), 1996

NEVERS, N. **Air Pollution Control Engineering**. 2. ed. Estados Unidos da América: Waveland Pr Inc, 2010

OBERT, E. F. **Motores de combustão interna**. Porto Alegre: Editora Globo, 1971.

PETROBRÁS. **Manual da gasolina 2021**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/data/files/02/93/A0/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/manual-de-gasolina.pdf>>. Acesso em: jun, 2022

PETROBRÁS. **Manual do diesel 2021**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/04/93/72/4C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual-de_Diesel_2021.pdf>. Acesso em: jun, 2022

PLINIO M. NASTARI – **MERCADO & NEGÍCIOS: AGROANALYSIS**. v. 43, n. 03, mar, 2023

PORTAL ÚNICO SISCOMEX, **Nomenclatura NCM**. Disponível em: <<https://portalunico.siscomex.gov.br/classif/#/nomenclatura/850211?criterio=8502110>>. Acesso em: nov, 2021

RECEITA FEDERAL - MINISTÉRIO DA FAZENDA. Portal Aduana e Comércio Exterior. Disponível em: <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/aduaneira/classificacao-fiscal-de-mercadorias/ncm>>. Acesso em: nov, 2022

SAE INTERNATIONAL. **ENGINE POWER TEST CODE—SPARK IGNITION AND COMPRESSION IGNITION—GROSS POWER RATING J1995_199506** Disponível em: <https://www.sae.org/standards/content/j1995_199506/>. Acesso em: mai, 2023

TAYLOR, C. F. **Análise dos motores de combustão interna**. v. 1. São Paulo: Editora Blucher, 1988

TEIXEIRA, E. C. **Biodiesel: Impacto Ambiental Agronômico e Atmosférico**. Porto Alegre: Editora Fepam, 2012

TILLMANN, C. A. C, **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: e-Tec Brasil, 2013