



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL COM INJEÇÃO  
ELETRÔNICA *COMMON RAIL* ALIMENTADO COM MISTURAS  
DIESEL – BIODIESEL EM DINAMÔMETRO DE CHASSIS**

**PAULO RICARDO PODORODECZKI  
ENGENHEIRO MECÂNICO**

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA  
E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

**Porto Alegre  
Outubro, 2016**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL COM INJEÇÃO  
ELETRÔNICA *COMMON RAIL* ALIMENTADO COM MISTURAS  
DIESEL – BIODIESEL EM DINAMÔMETRO DE CHASSIS**

**PAULO RICARDO PODORODECZKI**

ENGENHEIRO MECÂNICO

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCUS SEFERIN

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre**

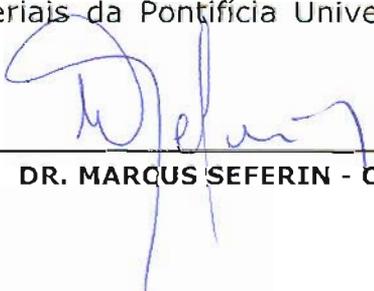
**Outubro, 2016**



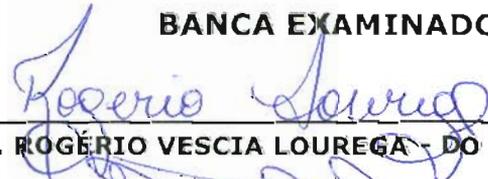
## **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL COM INJEÇÃO ELETRÔNICA COMMON RAIL ALIMENTADO COM MISTURAS DIESEL - BIODIESEL EM DINAMÔMETRO DE CHASSIS**

**CANDIDATO: PAULO RICARDO PODORODECZKI**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

  
\_\_\_\_\_  
**DR. MARCUS SEFERIN - ORIENTADOR**

### **BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ROGÉRIO VESCIA LOUREGA - DO PGTEMA - PUCRS**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. AURELIO TERGOLINA SALTON - PPGEE - FENG - PUCRS**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS - DO PGETEMA/FENG - PUCRS**

“A experiência nunca falha,  
apenas as nossas opiniões  
falham, ao esperar da  
experiência aquilo que ela não  
é capaz de oferecer.”

*Leonardo da Vinci (1452-1519)*

## DEDICATÓRIA

Aos meus pequenos Arthur e Miguel Campos Podorodeczki, que são a força motriz e a luz guia de nossas vidas.

À minha maravilhosa esposa, Eliane Campos, que sempre me incentivou para a realização dos meus ideais, encorajando-me a enfrentar todos os momentos difíceis da vida os quais passamos.

Com muito carinho, dedico a meus pais, Paulo Podorodeczki e Maria Joaquina Podorodeczki, pela compreensão, apoio e contribuição para minha formação acadêmica e nos momentos difíceis .

Ao meu sogro e sogra, que são incansáveis, no ofício de ser avô e avó, pois sem eles não conseguiria concluir o trabalho.

As minhas Irmãs, que também incluo minha cunhada, pela paciência e pelos auxílios dados de uma forma ou de outra.

Ao meu grande amigo Joel de Oliveira Costa, companheiro inseparável nas dificuldades do mestrado e dos testes com Biodiesel.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da vida, e por ter ajudado a manter a fé nos momentos mais difíceis.

A minha esposa e filhos pela compreensão e auxílio nas horas difíceis.

Aos meus Pais, que compartilharam e alimentaram os meus ideais, incentivando sempre a prosseguir na jornada, mostrando que o nosso caminho deveria ser seguido sem medo, fossem quais fossem os obstáculos. Minha eterna gratidão por receberem o dom divino de ser pai e de ser mãe e que cumpriram, muitas vezes a duras penas, o seu ofício.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram esta oportunidade para meu crescimento pessoal e intelectual.

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcus Seferin pelo empenho, auxílio e orientação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos de Mestrado.

Ao apoio financeiro do Programa de Formação Avançada em Ciência da Computação, fornecido gentilmente pela Empresa HP em parceria com a PUCRS.

A empresa FUELTECH, pela colaboração e gentileza em fornecer os equipamentos de aquisição de dados usados nos testes.

A empresa OLEOPLAN S.A. (ÓLEOS VEGETAIS PLANALTO S.A.), pela colaboração e gentileza em fornecer o Biodiesel para os testes.

A escola SENAI AUTOMOTIVO PORTO ALEGRE, pelo apoio incondicional, cedendo estrutura e equipamentos para a realização dos testes.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta formação, o meu muito obrigado.

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E NOMENCLATURAS .....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Fontes de Energia .....</b>	<b>20</b>
3.1.1. Óleo Diesel .....	20
3.1.2. Biodiesel: Breve Histórico .....	21
3.1.3. Características e Propriedades dos Combustíveis .....	24
3.1.3.1. Poder Calorífico .....	24
3.1.3.2. Teor de Enxofre .....	25
3.1.3.3. Massa Específica .....	25
<b>3.2. Motor Diesel .....</b>	<b>26</b>
3.2.1. Sistema de Injeção de combustível Diesel .....	27
3.2.2. Sistema de Injeção <i>Common Rail</i> .....	28
<b>3.3 Sistema de Medição de Torque e Potência.....</b>	<b>29</b>
3.3.1. Dinamômetros de Chassis .....	30
3.3.2. Freio Dinamométrico.....	32
3.3.3. Freio Eletrodinâmico de Correntes Parasitas .....	34
3.3.4. Dinamômetro de Inércia.....	35
3.3.5. Célula de Carga .....	37

<b>3.4. Curvas Características de Torque, Potência e Consumo Específico.....</b>	<b>41</b>
<b>3.5. Fatores de Correção de Potência .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6. Testes de Desempenho de Motores utilizando Biodiesel.....</b>	<b>44</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1. Sala do Dinamômetro de Rolos Do Senai Automotivo Porto Alegre.....</b>	<b>50</b>
4.1.1 Veículo Automotivo .....	50
4.1.2 Aparato Medidor de Consumo de Combustível .....	52
4.1.3 Combustíveis Utilizados.....	54
4.1.3.1. Diesel S10 (B7) .....	54
4.1.3.2. Biodiesel (B100) .....	55
4.1.4. Dinamometro de Chassi FLA203.....	55
4.1.5. Rotação do Motor .....	57
4.1.6. Ensaios .....	59
4.1.6.1. Protocolos de Ensaio .....	62
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>65</b>
5.1.Dados Atmosféricos.....	65
5.2. Ensaios com o óleo Diesel B7 .....	66
5.3. Análise do Consumo Específico de Combustível .....	66
5.4. Análise do Torque .....	70
5.5. Análise da Potência .....	72
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>77</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Percentual de participação na movimentação de cargas e passageiros (CNT, 2016).....	17
Figura 3.1. Reação Química de transesterificação (US,2016).....	21
Figura 3.2. Motor a diesel 4 tempos (EIT,2016).....	26
Figura 3.3. Sistema de injeção <i>common rail</i> , ilustrando seus principais componentes (Adaptado de SONIRODBAN,2016).....	28
Figura 3.4. Exemplo de um freio de Prony (PEREIRA, 2016).....	29
Figura 3.5. Exemplo de utilização de teste de performance de um veículo Ford Mustang em um dinamômetro de chassis (BETTES,2010).....	31
Figura 3.6. Ilustração de um dinamômetro de chassi e seus principais componentes.(Adaptado de WVU, 2001).....	32
Figura 3.7. Princípio de funcionamento de um freio dinamométrico (BERKELEY, 2016).....	32
Figura 3.8. Princípio de funcionamento do freio eletromagnético (Adaptado de CM, 2016).....	34
Figura 3.9. Componentes principais de um rolo de dinamômetro .....	35
Figura 3.10. Diagrama de forças envolvidas no sistema pneu-rolo.....	36
Figura 3.11. Diagrama esquemático de medição de extensometria de resistência variável (GRANTE,.,2004).....	38
Figura 3.12. Representação esquemática de um extensômetro simples (GRANTE, 2004).....	39

Figura 3.13. Esquema de ligação de extensômetros em ponte de wheatstone (MUTLAQ, 2016).....	40
Figura 3.14. Célula de Carga do tipo S (COVENTRYSKALE, 2016).....	40
Figura 3.15. Curvas características de um motor diesel MWM 4.10TCA (Volkswagen, 2010).....	41
Figura 3.16. Exemplo de curva gerada pelo dinamômetro (verde) e corrigida (lilás).....	43
Figura 4.1. Ford F250 4x4 Diesel utilizada nos ensaios.....	51
Figura 4.2. Aparato medidor de combustível.....	52
Figura 4.3. Reservatórios de acondicionamento de combustível (A) reservatório Diesel S10; (B) reservatório Biodiesel .....	54
Figura 4.4 – Dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do SENAI AUTOMOTIVO (A) sistema de controle e aquisição de dados. (B) rolos inerciais (C) freio de corrente parasita e célula de carga .....	57
Figura 4.5. Montagem do sensor piezoelétrico (A) sobre o cabeçote do motor (B).....	58
Figura 4.6. Medidor universal de rotação NAPRO PRO 8500.....	59
Figura 4.7. Esquemática da montagem dos testes.....	61
Figura 4.8. Ancoramento do veículo através de cinta no dinamômetro.....	62

Figura 4.9. Formulação das misturas (A) Provetas graduadas, (B) Aparato medidor de consumo de combustível.....	63
Figura 5.1. Massa específica das misturas de B7 a B100.....	67
Figura 5.2. Consumo específico de combustível até B30 para as rotações de 1450, 2000 e 2600 rpm.....	68
Figura 5.3. Consumo específico de combustível registrado na rotação de 1450 rpm .....	68
Figura 5.4. Consumo específico de combustível registrado na rotação de 2000 rpm .....	69
Figura 5.5. Consumo específico de combustível registrado na rotação de 2600 rpm .....	69
Figura 5.6. Torque máximo do motor a plena carga em 2000 rpm em função das misturas.....	71
Figura 5.7. Comparação percentual de torque máximo do motor a plena carga em 2000 rpm em relação aos dados do fabricante.....	71
Figura 5.8. Comparação percentual de torque máximo do motor a plena carga a 2000 rpm em relação aos dados do combustível padrão (B7).....	72

Figura 5.9. Potência máxima do motor a plena carga em 2600 rpm em função das misturas.....73

Figura 5.10. Comparação percentual de potência máxima do motor a plena carga a 2600 rpm em relação aos dados do fabricante.....74

Figura 5.11. Comparação percentual de potência máxima do motor a plena carga a 2600 rpm em relação aos dados do combustível padrão (B7).....75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas do motor do veículo F250 utilizada nos testes (FORD, 2006).....	50
Tabela 2. Especificações técnicas do sistema de transmissão do veículo F250 utilizada nos testes (FORD, 2006).....	51
Tabela 3. Especificações da Balança Precisão SARTORIUS PMA7500 (SARTORIUS, 2016).....	53
Tabela 4. Dados Técnicos Bosch FLA 2003 (BOSCH, 2001).....	55
Tabela 5. Especificações do medidor universal de rotação NAPRO PRO 8500 (NAPRO, 2016) .....	58
Tabela 6 . Passos de operação do ciclo ESC.....	59
Tabela 7. Passos de operação do ciclo utilizado.....	60
Tabela 8. Condições ambientais nos dias dos ensaios.....	65
Tabela 9. Desempenho obtido com o óleo Diesel B7.....	66

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Aceleração Angular	rad.s <sup>-2</sup>
$\beta$	Ângulo formado entre braço de alavanca e a força	°
Ce	Consumo específico	g.(kW.h) <sup>-1</sup>
Ch	Consumo horário	g.h <sup>-1</sup>
D	Braço de Alavanca	m
F	Força	N
I	Momento de Inércia	kg.m <sup>2</sup>
M	Massa Específica	kg.m <sup>-3</sup>
N	Frequência de rotação	Hz
P	Potência	W
P.A.	Pressão atmosférica	hPa
T ar	Temperatura do ar	°C
T	Torque	N.m
UR	Umidade Relativa	%

## LISTA DE SIGLAS E NOMENCLATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B7 a B100	Proporção cujo numeral indica o percentual em volume de Biodiesel
CFR	<i>Cooperative Fuel Research</i>
CNT	Confederação Nacional de Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DIN70020	Norma alemã para medição de potência e torque para veículos
F.C.C	Fator de correção calculado
ESC	<i>European Stationary Cycle</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
ppm	Parte por milhão
rpm	Rotações por minuto

## RESUMO

PODORODECZKI, PAULO RICARDO. **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MOTOR DIESEL COM INJEÇÃO ELETRÔNICA COMMON RAIL ALIMENTADO COM MISTURAS DIESEL – BIODIESEL EM DINAMÔMETRO DE CHASSIS**. Porto Alegre. 2016. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

O presente trabalho analisa a performance e o consumo de um motor de ciclo Diesel gerenciado eletronicamente utilizando o sistema Common Rail equipando um veículo utilitário, variando-se o volume de Biodiesel adicionado ao Diesel. Utilizou-se para os ensaios o combustível Diesel S10 adquirido em postos de combustíveis, constituído de 7% de Biodiesel já em sua composição, e adicionando Biodiesel em volume de 5 em 5% até Biodiesel puro (100%). Os ensaios foram realizados em bancada dinamométrica de rolos, a fim de obter e analisar dados de torque, potência e consumo específico, a fim de obter dados para posterior análise e realizar comparações com referencial teórico publicado anteriormente. Os resultados demonstraram que há uma faixa de melhor performance entre 10% e 30% onde há um aumento de performance da ordem de 3% com o menor consumo específico e com o aumento gradativo do percentual de Biodiesel, a performance declina da ordem de 11,8% no torque máximo e 8,2% na potência gerada pelo motor até Biodiesel 100%, sendo esta a que apresentou a pior performance.

Palavras-Chaves: Biodiesel, Bancada Dinamométrica, Performance.

## **ABSTRACT**

**PODORODECZKI, PAULO RICARDO. DIESEL ENGINE PERFORMANCE ANALYSIS WITH ELECTRONIC INJECTION *COMMON RAIL* POWERED WITH DIESEL - BIODIESEL BLENDS IN CHASSIS DYNAMOMETER.** Porto Alegre. 2016. Master. Graduation Program In Materials Engineering And Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The present work analyzes the performance and consumption of an electronically managed diesel cycle engine using the Common Rail system equipping a utility vehicle, varying the volume of Biodiesel added to the diesel. The S10 diesel fuel purchased at gas stations, consisting of 7% of Biodiesel already in its composition, and adding Biodiesel in volume of 5 in 5% up to pure Biodiesel (100%) was used for the tests. The tests were carried out on a roller dynamometer in order to obtain and analyze data of torque, power and specific consumption, in order to obtain data for further analysis and make comparisons with previously published theoretical reference. The results showed that there is a better performance range between 10% and 30% where there is a 3% increase in performance with the lowest specific consumption and with the gradual increase of the percentage of Biodiesel, the performance declines of the order of 11, 8% in the maximum torque and 8.2% in the power generated by the engine to 100% Biodiesel, being this one that presented the worst performance.

Key Words: Biodiesel, Torque Bench, Performance.

## 1. INTRODUÇÃO

As escolhas feitas por dirigentes de um país em um determinado período da história, ocasionam diversos desdobramentos que se refletirão no futuro, os quais mudarão sensivelmente os rumos do mesmo. O Brasil, por exemplo, na década de 1950 decidiu implementar principalmente, pela razão de não possuir uma planta fabril e infra-estrutura adequada, a matriz de transportes baseada em malha rodoviária, onde ocupa atualmente um valor próximo de 62% de todo transporte nacional, segundo CNT (2016), como está exemplificado na Figura 1.1.

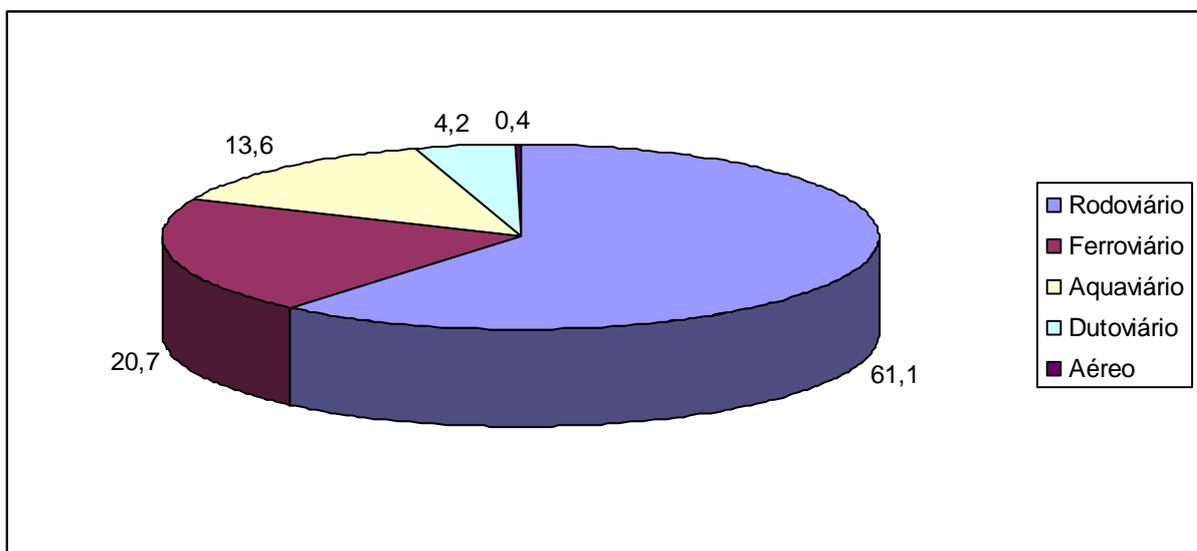


Figura 1.1. Percentual de participação na movimentação de cargas e passageiros (CNT, 2016).

Como o óleo Diesel possui uma vasta gama de aplicações, faz com que ele seja um produto destaque na economia, sendo fator relevante não só no setor de derivados, mas também em outros setores que também o utilizam como insumo. Segundo LIMA (2013), no setor de transporte rodoviário de carga, por exemplo, a contribuição do custo do combustível sobre o custo total do transporte foi de 25,6% em 2012 e, no percurso de longa distância, entre estados, o custo do diesel equivale

a 40,1% do custo total para cargas fechadas e 18,3% do custo total para cargas especiais. Por isso, qualquer mudança no preço do Diesel impacta consideravelmente na economia. Devido a essa importância do combustível, no mundo já se verificam tendências dos países em aumentar a participação de outros combustíveis em suas matrizes energéticas, visando diminuir a participação de Diesel. Neste cenário, o Brasil se encontra em posição de destaque, sendo o segundo produtor e consumidor mundial de Biodiesel, segundo MME (2016), perdendo apenas para os Estados Unidos da América.

Qualquer estudo relacionado ao desenvolvimento de Biodiesel é bem-vindo, dada a importância de sua utilização concomitante com o Diesel. Entretanto, na literatura técnica existem poucas informações observadas correlacionando o torque, potência e consumo específico de combustível em motores mais avançados, alimentados com Biodiesel, já que a maioria dos estudos se baseia em motores pequenos estacionários, mas que não condizem com a realidade de um motor veicular, pois as mudanças de carga e rotação são uma constante, variando torque, potência e consumo específico.

Sendo assim, para o presente estudo procurou-se trabalhar com um veículo Diesel com injeção eletrônica padrão Euro III, instrumentado para verificar o desempenho de torque, potência e consumo específico, variando-se a carga e rotação conforme a norma europeia ESC, onde dividiu-se o texto de acordo com os capítulos que seguem.

No capítulo 2, será apresentado o objetivo deste trabalho e a finalidade do mesmo, considerando parâmetros pré-estabelecidos. No capítulo 3, será analisada de forma mais profunda a revisão bibliográfica e os elementos teóricos e matemáticos que darão base as análises experimentais; No capítulo 4, os materiais e métodos utilizados, ou seja, a preparação das amostras e instrumentos necessários aos experimentos; o capítulo 5 destina-se a apresentação e discussão dos resultados, finalizando com as conclusões no capítulo 6, as propostas para trabalhos futuros no capítulo 7 e referências bibliográficas no Capítulo 8.

## **2. OBJETIVOS**

O Objetivo deste trabalho é de avaliar um motor Ciclo Diesel gerenciado eletronicamente utilizado em caminhonetes e caminhões, variando-se misturas entre óleo Diesel e Biodiesel, com adição de Biodiesel de 5 em 5% desde B7, que é o óleo Diesel acrescido de 7% em volume de Biodiesel, até um percentual de 100%, utilizando um arranjo dinamométrico para anotação do torque, potência e consumo de combustível para fazer uma análise comparativa entre os combustíveis.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abordando conceitos básicos sobre as fontes de energia (Diesel e Biodiesel), o panorama do Biodiesel no mundo e no Brasil, as principais características e propriedades dos combustíveis, o funcionamento básico do motor e da injeção eletrônica de combustível, o funcionamento básico da instrumentação e tipos de bancos de teste dinamométricos e por fim, um resumo de testes de performance divulgado em periódicos.

#### **3.1. Fontes de Energia**

##### **3.1.1. Óleo Diesel**

O óleo Diesel é um derivado da destilação do petróleo bruto, sendo constituído basicamente por hidrocarbonetos. É um combustível de uso rodoviário e não rodoviário, destinado a veículos e equipamentos dotados de motores do ciclo Diesel e produzido por processos de refino de petróleo e processamento de gás natural. No Brasil, este combustível contém Biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente (ANP, 2014).

De acordo com a ANP (2014), o óleo Diesel está regulamentado através de seu teor de enxofre, sendo regulamentado para venda e distribuição para uso rodoviário, o S500 e o S10, cuja sigla identifica a quantidade de enxofre em miligramas por quilograma (*ppm* de combustível). É um produto que possui pouca inflamabilidade, pouca volatilidade, média toxicidade, límpido, sendo isento de material em suspensão e com odor característico.

### 3.1.2. Biodiesel: Breve Histórico

O Biodiesel é definido quimicamente como um éster de ácido graxo, sendo obtido comumente através de uma reação química conhecida como *Transesterificação* sendo ilustrada na Figura 3.1, porém, também podendo ser realizado por craqueamento ou esterificação (ANP, 2014). O processo químico da transesterificação necessita utilizar gorduras de origem animal ou vegetal, na presença de um catalisador, cujos produtos da reação serão o Biodiesel e glicerina.

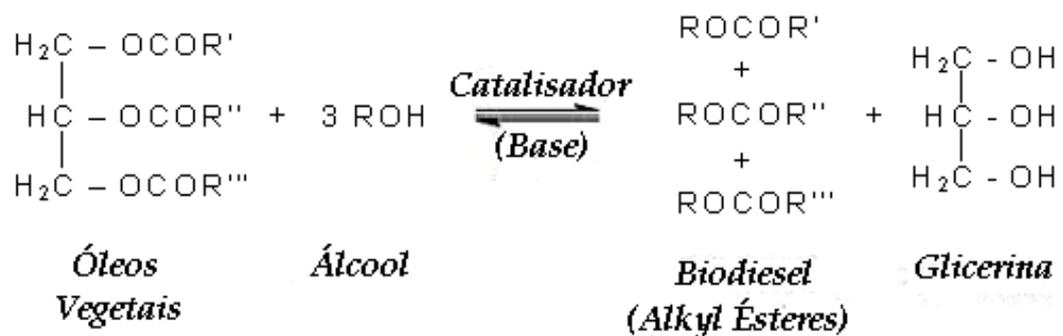


Figura 3.1. Reação química de Transesterificação (Adaptado de US, 2016).

No Brasil, existem várias espécies de oleaginosas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, sendo a soja, o dendê e a mamona, devido a abundância, as mais utilizadas. Existem vários estudos de utilização de outras fontes, principalmente o óleo de fritura usado, sendo uma fonte importante de gordura.

A introdução de Biodiesel gradativamente a partir de 2008, em percentual de volume, concomitante com o Diesel é importante pela redução de impactos ambientais, bem como ajuda a diminuir a dependência internacional na compra de Diesel para o país, valor que atualmente aproxima-se de 144,2 milhões de barris de petróleo anualmente (ANP, 2015).

O Biodiesel possui algumas vantagens, pelo fato de poder ser obtido de várias fontes renováveis, aumento de emprego e renda em plantas de fabricação, principalmente nas zonas rurais; Porém, há desvantagens como por exemplo, os grandes volumes de glicerina previstos (subproduto). Ademais, no Brasil e na Ásia,

lavouras de soja e dendê cujos óleos são fontes potencialmente importantes de Biodiesel, estão invadindo florestas tropicais (BIODIESELBR, 2016).

Em 1912, Rudolf Diesel, o criador do motor que leva o seu nome, em uma palestra feita por ele para o instituto de engenheiros mecânicos, disse que “Ninguém pode prever a importância futura que estes óleos terão para o desenvolvimento das colônias” (Na época o império Britânico possuía várias “colônias”, ou seja, países sob o seu domínio) (SUAREZ, 2005). Com essa declaração, Diesel estava antevendo a importância dos óleos vegetais para o futuro.

A primeira utilização de Biodiesel documentada foi durante o ano de 1937, inclusive rendendo uma patente para a produção de Biodiesel a partir de óleo de dendê, em Bruxelas, na Bélgica. Os testes foram realizados em caminhões com rodagem superior a 20000 km, sem muitos problemas. Com o advento da Segunda Guerra Mundial, os países europeus começaram uma corrida contra o tempo para desenvolverem combustíveis produzidos a partir de óleo vegetal, onde Inglaterra e França com suas colônias e Alemanha desenvolveram métodos e combustíveis alternativos ao petróleo, tendo a Índia (colônia Inglesa) como expoente no desenvolvimento durante a segunda guerra e anos posteriores (SUAREZ, 2007).

Ao baratear os custos do barril de petróleo no mercado internacional, começou a haver um desinteresse pelo desenvolvimento de combustíveis derivados de óleos vegetais, mudando apenas no início da década de 1990, principalmente por questões estratégicas e ambientais, onde destacam-se os Estados Unidos como sendo o primeiro país a regulamentar o Biodiesel como combustível alternativo a partir de 1997, bem como no desenvolvimento de Biodiesel a partir da soja e do milho. Outro país que merece destaque é a Alemanha por ter atingido a marca de 1 milhão de toneladas de produção de combustível no ano de 2002 (INPI, 2008 & MME, 2016).

Devido ao Brasil ser um país essencialmente agrário, até a década de 1950, tendo a sua industrialização tardia e matriz de transportes essencialmente rodoviária, as pesquisas por combustíveis alternativos sempre foram importantes e colocaram o país em uma posição de vanguarda no cenário mundial na pesquisa de

biocombustíveis, já que o óleo Diesel sempre foi importado. Segundo OSAKI (2008), as primeiras pesquisas com biocombustíveis foram desenvolvidas durante a década de 20, ainda no governo de Washington Luis, no Instituto Nacional de Tecnologia. Outros institutos, ainda na década de 1950, testaram vários combustíveis alternativos como ouricuri, mamona e algodão em motores veiculares Diesel. A partir da mudança do regime político, em 1964, o governo militar a partir da crise mundial do petróleo em 1973 e em 1979, fomentou as pesquisas na área de biocombustíveis se intensificando com foco em aumentar a gama energética em substituição ao óleo Diesel.

Durante as décadas de 1970 e 1980, foram criados dois programas que deve-se salientar: O plano de produção de óleos vegetais para fins energéticos (PRÓ-ÓLEO), cuja pretensão era a geração de óleo vegetal com custos de produção similares ao refino de petróleo, e o OVEG (Programa de Óleos Vegetais), lançado oficialmente em 1982 em conjunto com a indústria automotiva. A partir do desenvolvimento do Biodiesel surgiram diversos estudos do engenheiro químico Expedito José de Sá Parente, utilizando diversos óleos de matriz vegetal (soja, babaçu, amendoim, algodão, canola, girassol e dendê), que inclusive rendeu a primeira patente internacional ao Brasil na produção de Biodiesel, esse programa foi desenvolvido para comprovação técnica da utilização de Biodiesel em motores veiculares, sendo este interesse motivado principalmente pela segunda crise do petróleo de 1979 (PARENTE, 2003).

A partir de metade da década de 1980, a mudança do regime político, bem como a queda no valor da venda do barril de petróleo internacional fez mudar o incentivo governamental a pesquisas voltadas ao desenvolvimento do Biodiesel no Brasil, voltando somente a ganhar força a partir de 2000, devido a valorização de aspectos ambientais, a sustentabilidade da matriz energética e o medo da subida do preço do petróleo. Os centros de pesquisa e universidades foram estimulados a desenvolver pesquisas na área, e já em 2001 foi patenteado o processo de produção de Biodiesel através da semente de mamona (INPI, 2008).

Em 2002, o governo novamente incentivou ainda mais o desenvolvimento de pesquisas através do lançamento da portaria MCT 702, em 30 de outubro de 2002,

lançando o PROBIODIESEL (Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel).

Em 2004, foi implantado o PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel), cujo objetivo era abordar, baseado em estudos por um grupo interministerial, o Biodiesel como fonte auxiliar e alternativa de combustível.

O Biodiesel é implementado como combustível por força da lei 11.097 em 2005, ampliando as funções da ANP, de fiscalizar e regular as atividades referentes a produção, controle de qualidade, distribuição, venda e comercialização do Biodiesel e dos “blend” (mistura óleo Diesel - Biodiesel), bem como o marco regulatório de introdução do Biodiesel em 2% em volume a partir de 2008, subindo gradativamente a 20% até em 2020. Em 2014, pela lei 13.033, o percentual de Biodiesel implementado de 6% de Biodiesel em mistura com Diesel e em 2015, o percentual era de 7% e por fim, em 23 de março de 2016, a lei 13.263 altera o percentual para 8% durante o ano, 9% em até 24 meses e 10% em até 36 meses, procurando atender o cronograma inicial de incremento de Biodiesel na mistura de combustível (BRASIL, 2005; 2014 e 2016).

### **3.1.3. Características e Propriedades dos Combustíveis**

Para que um motor funcione com um determinado combustível, é necessário que as suas propriedades sejam adequadas para a sua utilização. As propriedades que o Biodiesel tem de apresentar para operar em um motor de ciclo Diesel são semelhantes, e existem algumas que merecem ser citadas, pois estão ligadas diretas ao consumo e performance dos motores como o poder calorífico, o teor de enxofre e a massa específica.

#### **3.1.3.1. Poder Calorífico**

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia química disponível a liberada por um combustível por unidade de massa na hora da combustão. Existem 2 tipos de poder calorífico: superior e Inferior (MARTINS, 2006).

O poder calorífico superior é definido pela soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de oxidação. Já o poder calorífico inferior despreza a energia gasta na vaporização da água. Essa informação é importante, pois para um combustível de menor poder calorífico, haverá um consumo maior deste, segundo (TZIOURTZIOUMIS *et al.*,2012).

#### 3.1.3.2. Teor de enxofre

Os combustíveis de origem fóssil, como o Diesel, são formados principalmente por moléculas de carbono e hidrogênio, entretanto há contaminantes como o Enxofre, o Nitrogênio e o Oxigênio que estão intrínsecos ao combustível. Martins (2006) cita que o enxofre é indesejável no processo de combustão devido a ação corrosiva dos novos sistemas de injeção eletrônica Diesel e sua capacidade de se ligar quimicamente a outros produtos da combustão para a formação de gases tóxicos como o SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) e o SO<sub>3</sub> (trióxido de enxofre), que por sua vez na presença de água forma ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que é um ácido forte, corrosivo e altamente poluente ao meio ambiente. Devido a essas dificuldades técnicas, a resolução ANP (2013) institui a comercialização do Diesel S10 (B7), com baixo limite de enxofre.

#### 3.1.3.3. Massa específica

A massa específica de um combustível é definida como a massa por unidade de volume, sendo esta medida a uma certa temperatura e pressão. Segundo BOSCH (2005), existe uma relação constante entre o poder calorífico e a massa específica; massas específicas mais altas possuem poder calorífico mais alto, devido a composição do combustível, porém, podem causar tanto aumento de potência quanto aumento de emissão de fumaça (MARTINS, 2006). Devido a isso, a ANP através de resoluções determinou que os valores de medição de massa específica, ensaiados conforme a norma NBR 14065, fiquem entre 815 e 850 kg/m<sup>3</sup> para o Diesel S10, e para o Biodiesel entre 850 e 900 kg/m<sup>3</sup> (ANP, 2013; ANP, 2014).

### 3.2. Motor Diesel

O motor Diesel recebe este nome em homenagem ao seu inventor, Rudolph Diesel, sendo considerado um motor com pistão alternativo que forma sua mistura interna de forma heterogênea, possuindo auto - ignição devido a sua alta compressão (BOSCH, 2005).

Existem motores Diesel operando em ciclo de 2 tempos, sendo utilizados principalmente em grandes aplicações, como em motores navais e de instalações geradoras, se caracterizando como motores de baixa rotação, ou operando em ciclo de 4 tempos, que são os tipos mais comumente usados em veículos, como pode ser visto na Figura 3.2 .

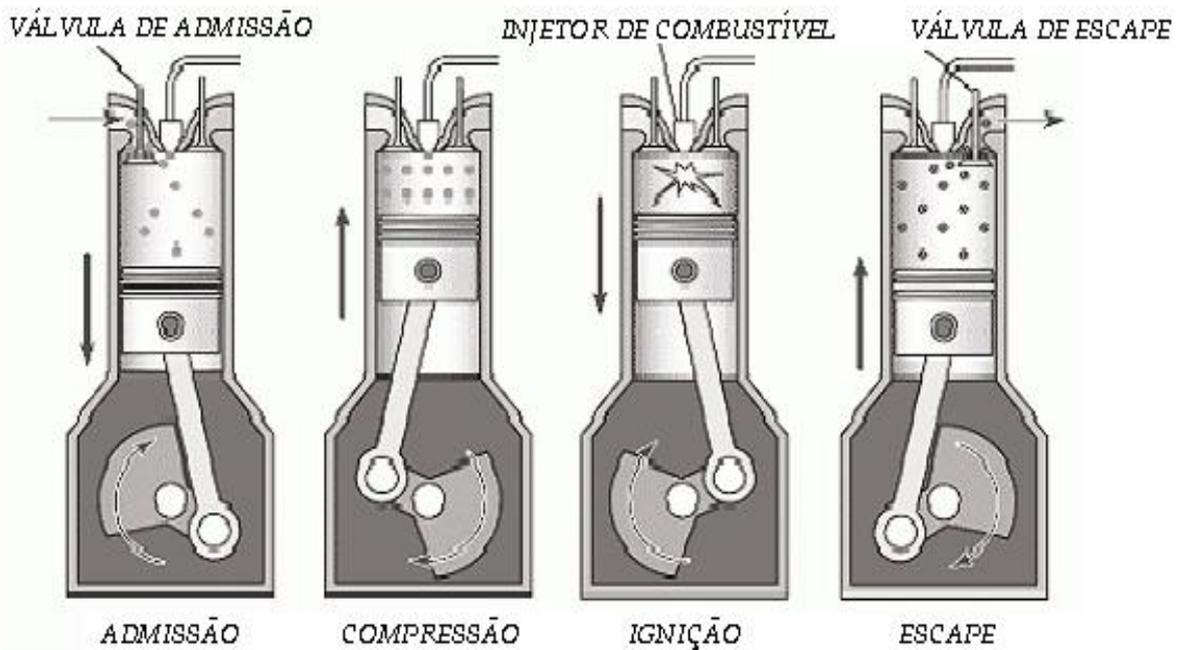


Figura 3.2. Motor a Diesel 4 tempos (EIT, 2016).

Um motor de ciclo Diesel 4 tempos possui, assim como o motor de 4 tempos à gasolina, popularmente chamado de ciclo Otto, itens básicos de um motor alternativo (que alterna o movimento), constituídos por um conjunto cilindro - êmbolo, responsável pela compressão do ar, bem como impulsionar o conjunto biela-manivela, sendo este responsável pela transmissão de movimento a um volante de massa. O funcionamento básico é realizado em 4 etapas, conforme o movimento do pistão e do eixo de manivelas, sendo a primeira a admissão, onde a

válvula de admissão se abre para a entrada do ar. Após essa etapa, as válvulas são fechadas e começa o tempo de compressão (BOSCH, 2005), iniciando então durante o movimento de subida do êmbolo, a injeção de combustível, onde a mistura é formada dentro do cilindro e inflamada pela alta temperatura, entre 700 e 900°C, para finalmente impulsionar o êmbolo para baixo, realizando o tempo motor e expulsando os gases queimados para novamente iniciar o ciclo de trabalho.

Desde o primeiro protótipo de motor diesel, feito em 1893, ficou muito claro que o controle da entrada de combustível deveria ser rigoroso, sendo que esse mecanismo vem sendo aperfeiçoado ao longo do tempo, fazendo com que hoje se utilize sistemas de injeção de combustível eletrônicos sofisticados, cujo objetivo maior é o controle de emissões de poluentes.

### **3.2.1. Sistema de Injeção de Combustível Diesel**

No processo de combustão de um motor Diesel, o combustível deve ser injetado diretamente na câmara de combustão com alta pressão, de forma precisa e com quantidade certa conforme o regime de rotação (BOSCH, 2005). Ainda segundo BOSCH (2005), até os anos 1980, a maioria dos sistemas de injeção se baseavam em sistemas completamente mecânicos, sempre ajustando o volume de combustível a ser injetado através de reguladores centrífugos, dependentes da rotação. Porém, a partir de leis de emissões de poluentes mais rigorosas, exigindo o controle de gases poluentes, os sistemas se desenvolveram, primeiramente em sistemas semi-eletrônicos, sendo os reguladores centrífugos substituídos por reguladores eletrônicos, o conjunto mecânico monitorado e ajustado eletronicamente, evoluindo até os sistemas atuais, onde o controle de injeção é totalmente eletrônico, sendo o sistema de injeção chamado de “*common rail*”, o estado da arte dos sistemas de gerenciamento.

### 3.2.2. Sistema de Injeção *Common Rail*

O sistema de injeção eletrônica de combustível Diesel chamada de *Common Rail*, caracteriza-se por um controle maior da pressão de injeção no cilindro, bem como a sua geração de pressão de combustível que pode ser gerada e acumulada independente da rotação do motor e também da quantidade de combustível a ser injetado, diferentemente dos sistemas anteriores. O diferencial do sistema está em gerar e controlar a alta pressão através de uma bomba com válvula de controle, controlada eletronicamente pela central de injeção do motor, que conforme a solicitação a que o motor está sendo submetido, envia essa pressão controlada para o tubo acumulador e distribuidor de pressão (*common rail*). Como o controle de injeção de combustível em volume e pressão é superior aos sistemas mecânicos, naturalmente consegue-se diminuir significativamente as emissões de gases nocivos nos motores. Na Figura 3.3 pode-se ver uma ilustração do sistema de injeção eletrônica *common rail* com todos os seus componentes.

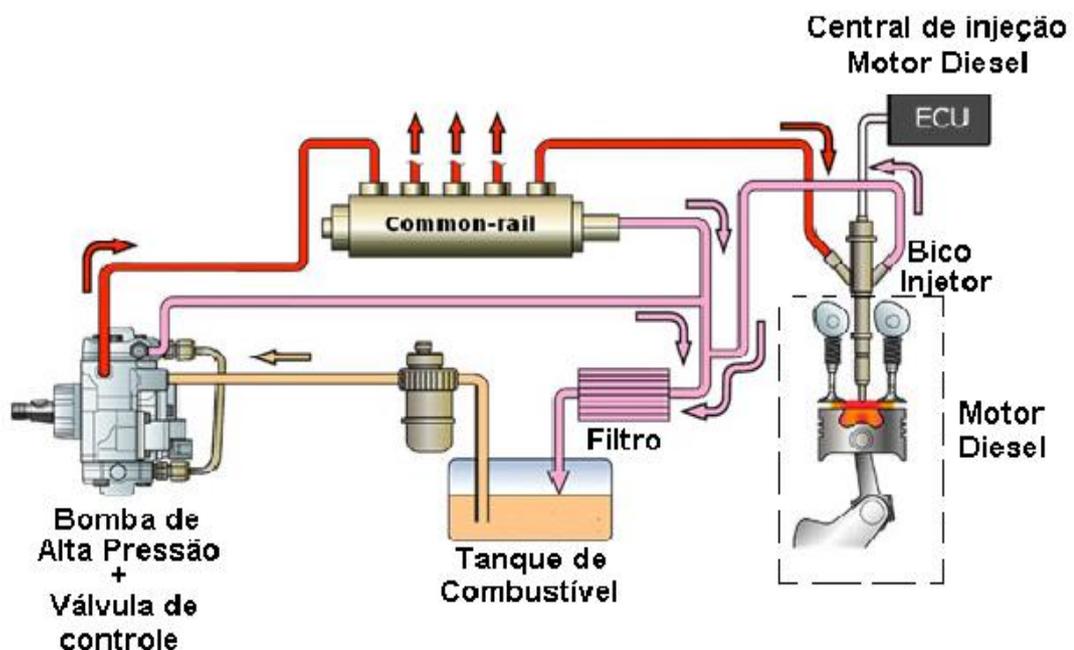


Figura 3.3. Sistema de injeção *common rail*, ilustrando seus principais componentes (Adaptado de SONIRODBAN,2016).

### 3.3. Sistema de Medição de Torque e Potência

A humanidade sempre buscou formas de estimar forças atuantes em máquinas, mensurando esforços e eficiências das mesmas, desde máquinas simples como alavancas, até máquinas complexas, como os motores de combustão interna. O dispositivo de medição de força é conhecido como Dinamômetro, e está baseado no princípio de proporcionalidade entre a força aplicada e a deformação do dispositivo (MARTYR *et al.*,2007).

Uma das primeiras formas de medir a potência de um motor foi através do chamado **Freio de Prony**, nome devido ao seu inventor, *Gaspard Clair François Marie Riche de Prony* (1755 - 1839). Ele é constituído por uma cinta de atrito que se dispõe ao longo de uma polia solidária ao eixo do motor, sendo esta conectada a um braço cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. A polia, acionada pelo motor, tem o seu movimento restringido ao se aplicar pressão na cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da mesma, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Na Figura 3.4 pode-se ver uma ilustração de um freio de Prony com todos os seus componentes.

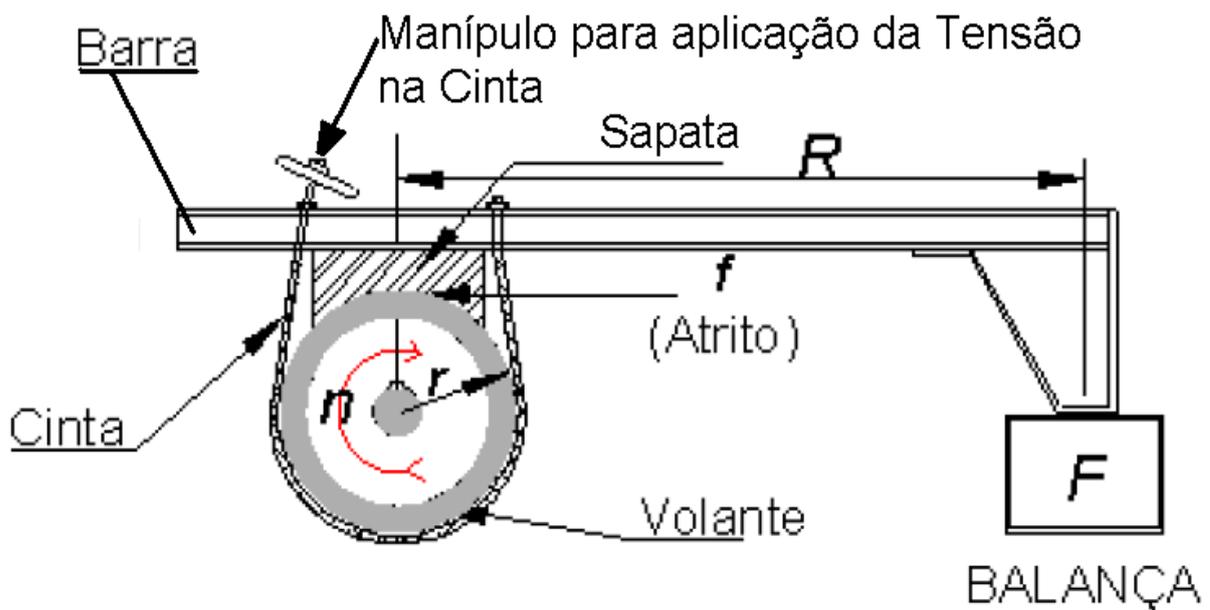


Figura 3.4 . Exemplo de um freio de Prony. (Adaptado de PEREIRA, 2016).

O funcionamento do Freio de Prony é bastante simples, onde coloca-se a máquina que se quer medir o torque acoplado a um volante e este por sua vez colocado entre a cinta e a sapata de frenagem. A medida que se torce o manípulo de aplicação de tensão, pode-se mudar a tensão na cinta, por sua vez alterando a força de frenagem mudando a força de atrito entre a sapata e o volante. A força é verificada na balança e uma vez multiplicada pelo braço de alavanca, obtemos o torque que a máquina está desenvolvendo.

Desde os tempos de Prony, estes aparelhos de medição de forças têm evoluído gradativamente e hoje diversos arranjos são possíveis para atender a uma grande gama de aplicações. Neste contexto, os dinamômetros veiculares se destacam, dada a sua importância para a indústria automobilística que os empregam em larga escala no desenvolvimento de novos motores.

### **3.3.1. Dinamômetros de Chassis**

Dentre as aplicações veiculares, destacam-se os dinamômetros de chassis, também conhecidos como “dinamômetros de rolos”, cuja maior vantagem é a possibilidade de aferir-se a potência de um dado motor sem precisar removê-lo do veículo. Atualmente, esta opção está sendo muito utilizada, pois é capaz de simular situações reais de carga, verificando em tempo real a performance global do motor e a eficiência da transmissão (caixa de câmbio, cardan e eixo diferencial).

Segundo BETTES (2010), os dinamômetros de rolos têm experimentado na última década um crescimento de demanda abrupto, dada a necessidade de se aferir em laboratório, com elevado grau de acuracidade – não alcançável por dinamômetros tradicionais de bancada fixa - o desempenho veicular concernente às emissões de poluentes gasosos, oriundos do produto da combustão em motores, como pode ser visto na Figura 3.5.



Figura 3.5. Exemplo de utilização de teste de performance de um veículo Ford Mustang em um dinamômetro de chassi (BETTES,2010).

O dinamômetro de rolos consiste basicamente de três partes principais: os rolos de frenagem que suportam o veículo e controlam a carga; um absorvedor de potência (Normalmente um freio hidráulico ou eletromagnético) que aplica resistência aos pneus do veículo e uma base metálica de sustentação do sistema. Ainda podem ser colocados anteparos de fixação do veículo para permitir que o mesmo permaneça centrado sobre os rolos. A Figura 3.6 apresenta um exemplo típico de dinamômetro de rolos e seus principais componentes. As interfaces de monitoramento e controle são realizadas por sistemas eletrônicos gerenciados por programas de controle de aplicação da frenagem, do monitoramento do motor do veículo e da aquisição de dados (principalmente Torque e Potência), sendo estes registros coletados e armazenados, para posteriormente serem tratados por algoritmos matemáticos, que fazem comparações com normas de teste, utilizando fatores de correção específicos.

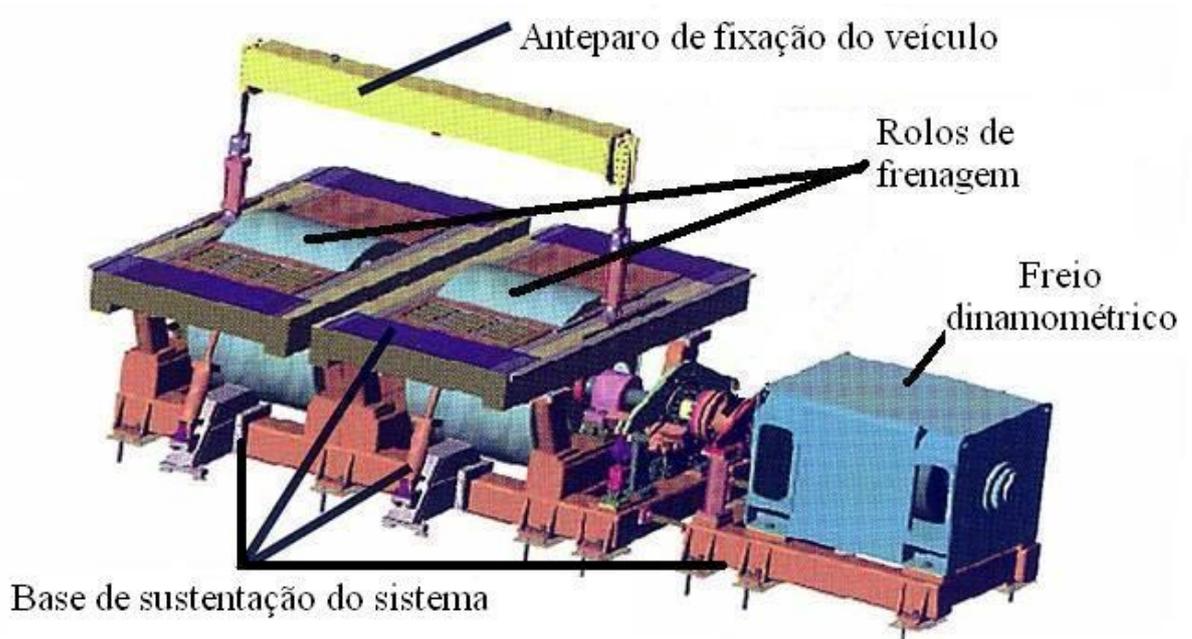


Figura 3.6. Ilustração de um dinamômetro de chassi e seus principais componentes (Adaptado de WVU, 2001).

### 3.3.2. Freio Dinamométrico

Para verificar a força, torque e potência de um veículo em um banco de testes, é necessário que exista algum mecanismo de frenagem, acoplado a uma balança ou célula de carga, conforme pode ser visto na Figura 3.7.

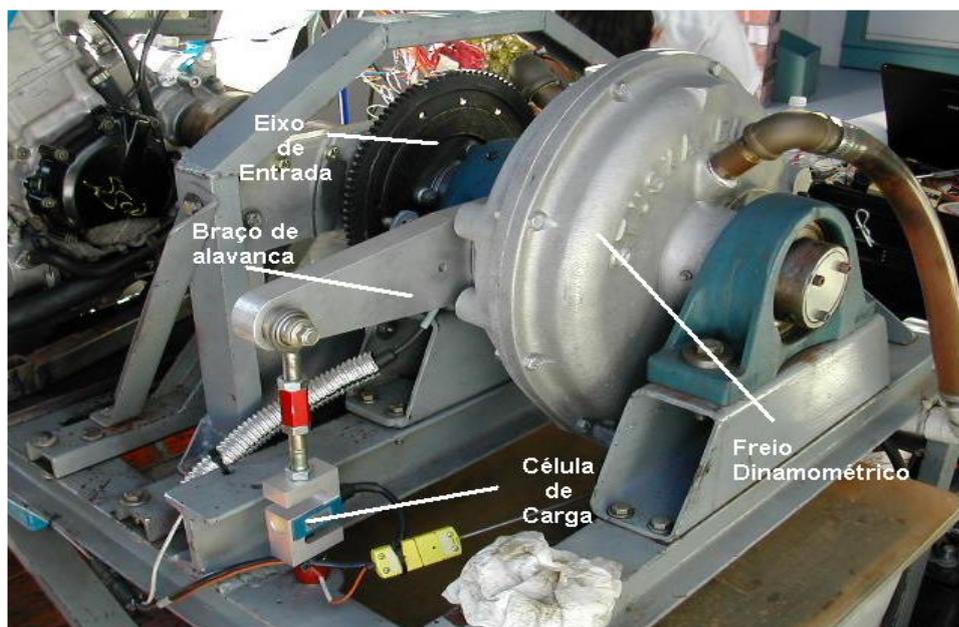


Figura 3.7. Princípio de funcionamento de um freio dinamométrico (Adaptado de BU, 2016).

O freio dinamométrico, consiste em um rotor ou eixo de entrada acoplado ao freio, e um estator apoiado em rolamentos, solidário a uma célula de carga, disposta no extremo de um braço de alavanca. Este dispositivo serve para medir a força necessária a se contrapor a força gerada pelo veículo, de forma a frear o movimento. O produto da força pelo comprimento do braço de alavanca fornece o torque, que multiplicado pela velocidade de rotação resulta na potência mecânica (MARTYR *et al.*, 2007).

A partir da Equação 1, é possível obter o torque do motor ou veículo submetido a um teste com um freio dinamométrico.

$$T = F \cdot d \cdot \text{sen}(\beta) \quad (1)$$

Onde:

T – Torque (N.m);

F – Força (N);

d – Braço de alavanca (m);

sen ( $\beta$ ) – função trigonométrica seno do ângulo  $\beta$ , onde  $\beta$  é o ângulo formado entre o braço de alavanca e a célula de carga, geralmente  $90^\circ$ , e  $\text{seno } 90^\circ = 1$ ;

Através da Equação 2, determina-se a potência mecânica gerada por um motor, ou veículo, e dissipada pelo freio dinamométrico durante um teste.

$$P = T \cdot 2\pi \cdot n \quad (2)$$

Onde:

P = Potência (W) ;

T = Torque (N.m) ;

n = Frequência de rotação (Hz).

Segundo BETTES *et al.* (2008), a forma de frenagem mais comumente utilizada para dissipação da potência do veículo é o freio eletrodinâmico de correntes parasitas, devido a estabilidade e suavidade de funcionamento. A carga do dissipador de potência pode ser variada por um controlador, que é capaz de operar com o veículo em

velocidade constante ou acelerado por longos períodos, com pouca flutuação de carga e rotação.

### 3.3.3. Freio Eletrodinâmico de Correntes Parasitas

O princípio do funcionamento de um freio de correntes parasitas (*eddy current*), é baseado no fenômeno de geração de correntes elétricas parasitas no interior de massas metálicas condutoras, imersas em campos magnéticos variáveis, denominadas correntes de *Foucault* (SOUZA, 2005). Se, não há presença de campo magnético, quando não há corrente de alimentação nos eletroímãs, o disco metálico não encontra dificuldades em realizar o movimento. Porém, ao alimentarmos os eletroímãs com uma corrente elétrica, formam-se correntes parasitas, freando o movimento do disco metálico, como está ilustrado na Figura 3.8.

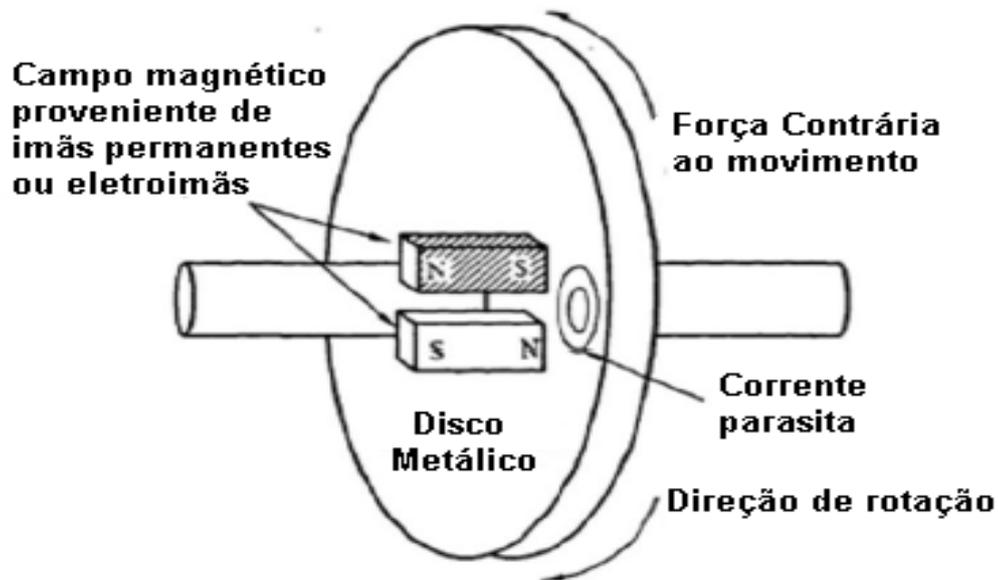


Figura 3.8. Princípio de funcionamento do freio eletromagnético (Adaptado de CM, 2016).

A lei de Lenz é que resume o fenômeno físico em questão, sendo enunciada como “Qualquer corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético que ela gera se opõe à variação do fluxo magnético que a produziu” (SOUZA, 2005).

Ao variar a corrente nos eletroímãs, pode-se produzir variações de torque no dinamômetro. Segundo Bettles *et al.*(2008), a utilização maior desse freio está

relacionada a algumas vantagens como a produção de torques elevados em baixas rotações, a rapidez na resposta às variações de carga, robustez mecânica, baixo custo de manutenção e progressividade e suavidade de resposta fazem com que seja o tipo mais utilizado em arranjos dinamométricos.

#### 3.3.4. Dinamômetro de Inércia

Normalmente em dinamômetro de chassis, utiliza-se em conjunto aos freios dinamométricos, cilindros com inércia conhecida, onde os pneus do veículo ensaiado ficam colocados diretamente sobre eles. Neste caso, são também determinadas a inércia do sistema de transmissão e a inércia das rodas. Na Figura 3.9 ,estão demonstradas as partes principais dos rolos de um dinamômetro e na Figura 3.10, está ilustrado o diagrama de forças envolvidas no sistema pneu-rolô.

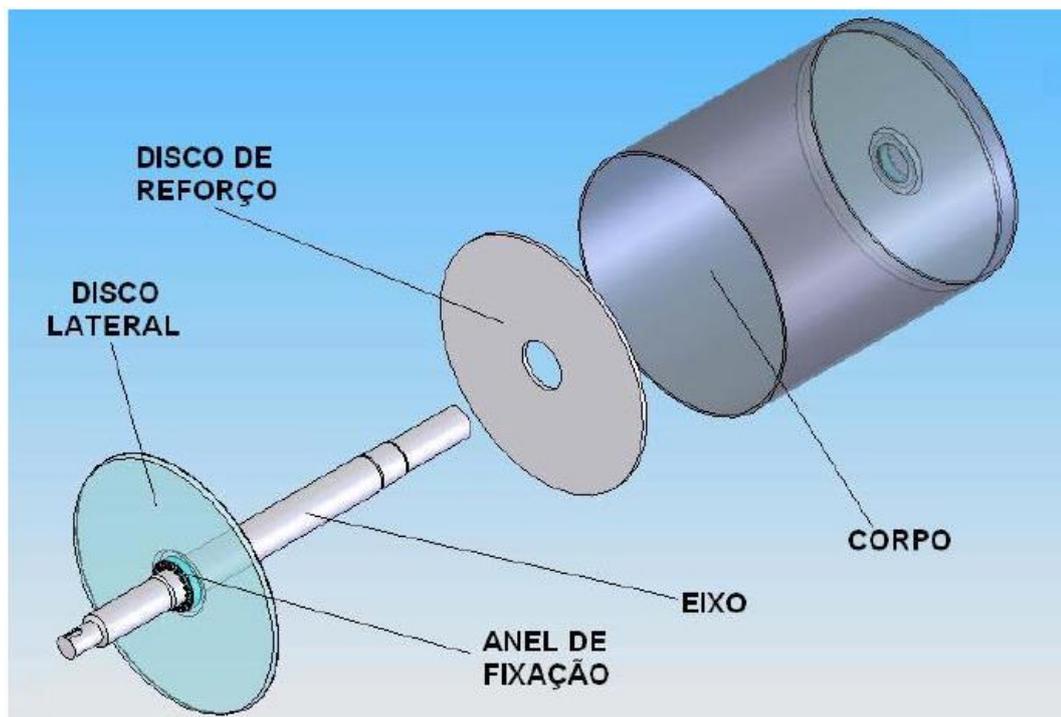


Figura 3.9. Componentes principais de um rolo de dinamômetro.

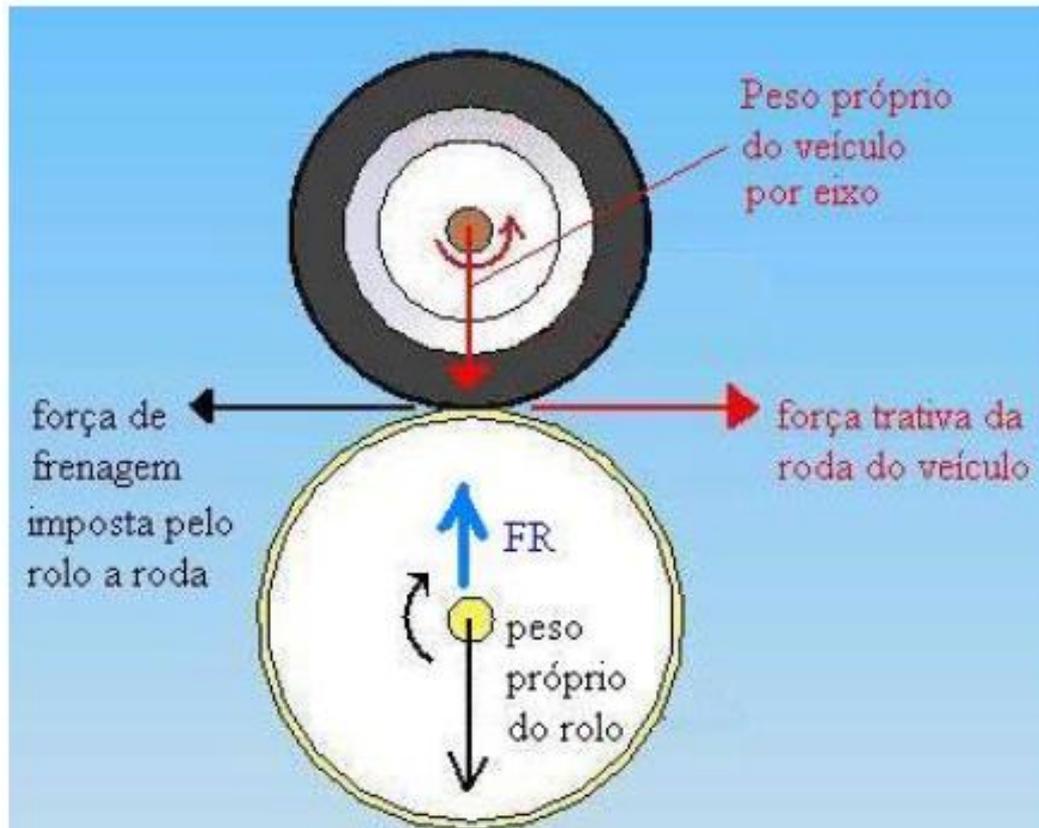


Figura 3.10. Diagrama de forças envolvidas no sistema pneu-rolô.

Os rolos de inércia são utilizados por poderem desenvolver rápidas acelerações, sendo fáceis de usar, não necessitando de controle e nem resfriamento adicional. Proporcionam curvas de torque e potência mecânica em poucos segundos (MARTINS, 2006).

Conhecendo-se o momento de inércia do rolo e a velocidade angular do mesmo, pode-se calcular o torque pelo produto do momento de inércia e da aceleração angular (primeira derivada da velocidade angular). A potência é obtida a partir do produto do torque pela velocidade angular (MUÑOZ *et al.*, 2008).

Ao utilizarmos a Equação 3, obtém-se o torque do motor, ou do veículo, submetido a um teste com um dinamômetro de inércia.

$$T = I.\alpha \quad (3)$$

Onde:

T –Torque (N.m) ;

I – Momento de inércia (kg.m<sup>2</sup>) ;

$\alpha$  – Aceleração angular (rad.s<sup>-2</sup>) ;

Utilizando novamente a Equação 2, é possível determinar a potência mecânica desenvolvida por um motor ou veículo e dissipada pelo dinamômetro de inércia durante um teste.

Segundo BETTES *et al.* (2008), somente os rolos Inerciais em um sistema dinamométrico de chassis seriam insuficientes para a medição, sendo utilizado um freio dinamométrico concomitante com o sistema inercial, para aumentar a gama de testes. Os rolos Inerciais trabalham apenas com aceleração, sendo impossível fazer medições de torque e potência em velocidade constante, bem como aplicar cargas de frenagem para simular trajetos ou percursos. Outra desvantagem é a modelagem da utilização inercial, sendo a inércia do veículo considerada constante, entretanto, na prática sabe-se que ela é variável devido a alguns fatores como a aerodinâmica e resistência a rolagem do veículo.

### 3.3.5. Célula de Carga

Em um sistema dinamométrico, o mais importante para estudo e comparação é o sistema de medição de força. Antigamente, se utilizavam balanças mecânicas para realizar a medição de força, onde as medições eram registradas manualmente. Porém, a partir dos avanços na área de eletrônica, os sistemas de aquisição de dados evoluíram, possibilitando medições e registros em tempo real, possibilitando inclusive a utilização de células de carga baseadas no princípio de extensometria, sendo estas muito utilizadas para medição de carga (GRANTE, 2004). A Figura 3.11, mostra um sistema básico de medição de extensometria de resistência variável, similar ao utilizado nas medições de força.

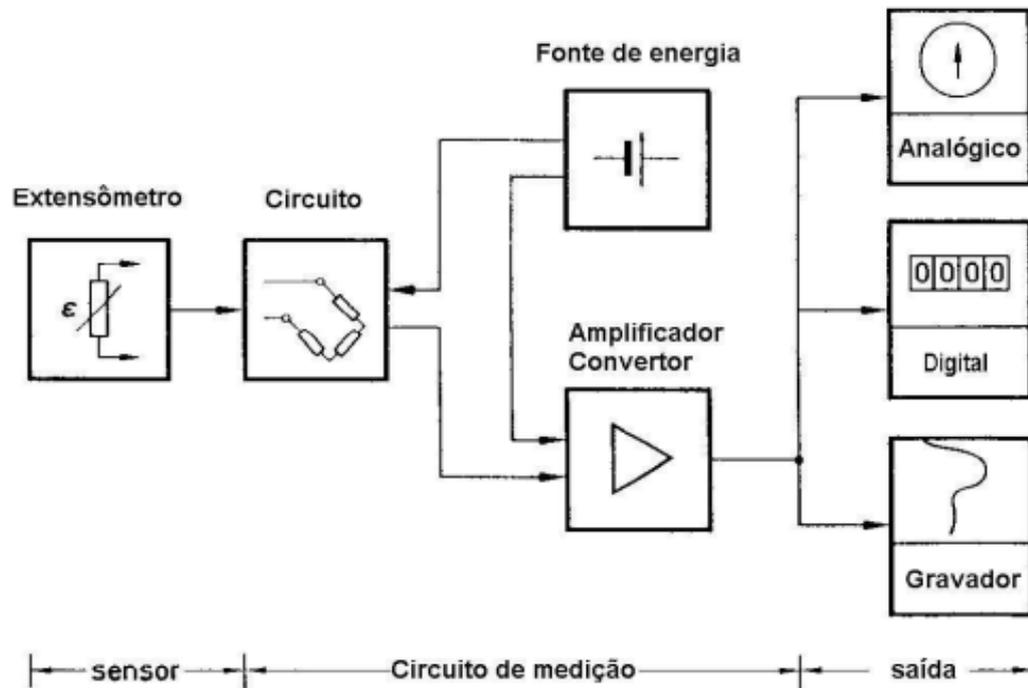


Figura 3.11. Diagrama esquemático de medição de extensometria de resistência variável (GRANTE, 2004).

A extensometria de resistência variável se utiliza do princípio das avaliações dos esforços, este baseado nas descobertas de Robert Hooke (1678), que relacionou a tensão aplicada em um determinado material conhecido, com sua deformação, obtendo o módulo de elasticidade do material.

Após Hooke, em 1938 Eduard E. Simons e Artur Claude Ruge realizaram estudos e desenvolveram as bases da extensometria de resistência elétrica ou *STRAIN GAGES*. O princípio de trabalho do *strain gage* está baseado na relação deformação/resistência do condutor elétrico. Todo condutor elétrico muda sua resistência elétrica quando submetidos a ações mecânicas, sendo essas forças compressivas ou trativas. São duas as causas dessa variação: uma devido à deformação do condutor, e outra pela variação na resistividade do material condutor, resultado de mudanças micro estruturais no condutor (GRANTE, 2004). Na Figura 3.12 representa um extensômetro típico com suas partes.

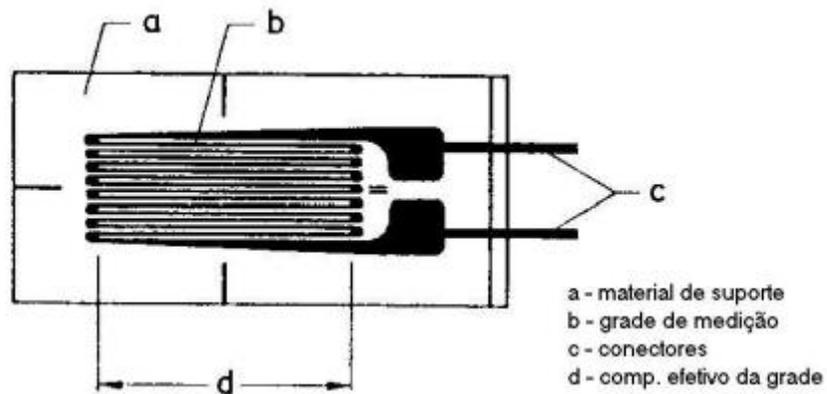


Figura 3.12. Representação esquemática de um extensômetro simples (GRANTE, 2004).

Se aplicarmos um *strain gage* em um material conhecido, podemos avaliar através da deformação do mesmo a força gerada, sendo este arranjo conhecido como célula de carga, que é um importante item de utilização para instrumentação de esforços em engenharia.

Geralmente em aplicações de célula de carga, são utilizados 4 extensômetros em um arranjo chamado de *ponte de WHEATSTONE*, pesquisador inglês descobridor da ponte cujo intuito era medir resistências elétricas, sendo este circuito considerado ideal para medir as alterações de resistência que ocorrem nos extensômetros (GOMEZ, 2008).

A Figura 3.13 representa um circuito de extensometria ligado em ponte de Wheatstone, onde se alimenta a célula de carga com uma fonte de tensão fixa e se analisa a saída em tensão que é linear a deformação apresentada pelo material (GOMEZ, 2008). Já a Figura 3.14 demonstra um exemplo de célula de carga real, do tipo S devido ao seu formato, comumente utilizado em medições de forças de tração e compressão.

*Full-bridge strain gauge circuit*

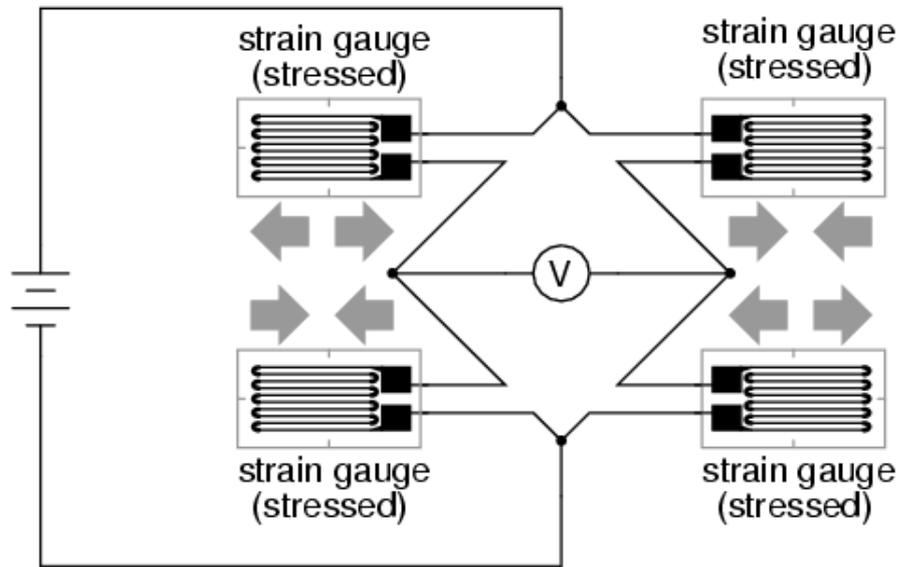


Figura 3.13. Esquema de ligação de extensômetros em Ponte de Wheatstone (MUTLAQ, 2016).

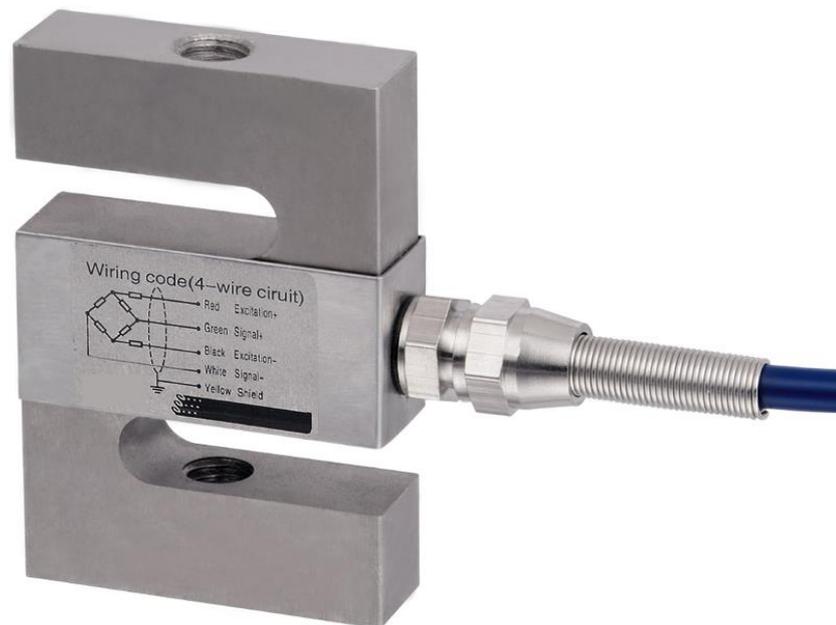


Figura 3.14. Célula de Carga do Tipo S (COVENTRYSICAL, 2016).

### 3.4. Curvas Características de Torque, Potência e Consumo Específico

Um motor de combustão interna ao ser ensaiado, apresenta curvas características em forma gráfica para visualização e comparação dos resultados, quando os dados são adquiridos por algum sistema de aquisição. Segundo Martins (2006), a curva de torque é obtida pela restrição oferecida ao movimento pelo dinamômetro, correspondendo ao torque do motor e a potência é calculada através desse parâmetro. O consumo específico não tem relação entre as duas curvas anteriores, correspondendo a uma rotação intermediária entre os máximos da curva de torque e de potência. À baixas rotações o consumo é maior devido principalmente as perdas térmicas e em altas rotações o consumo aumenta devido as perdas mecânicas. Na Figura 3.15 é apresentado um exemplo do comportamento das curvas de um motor Diesel MWM 4.10 TCA, utilizado em aplicações veiculares, em função da rotação.

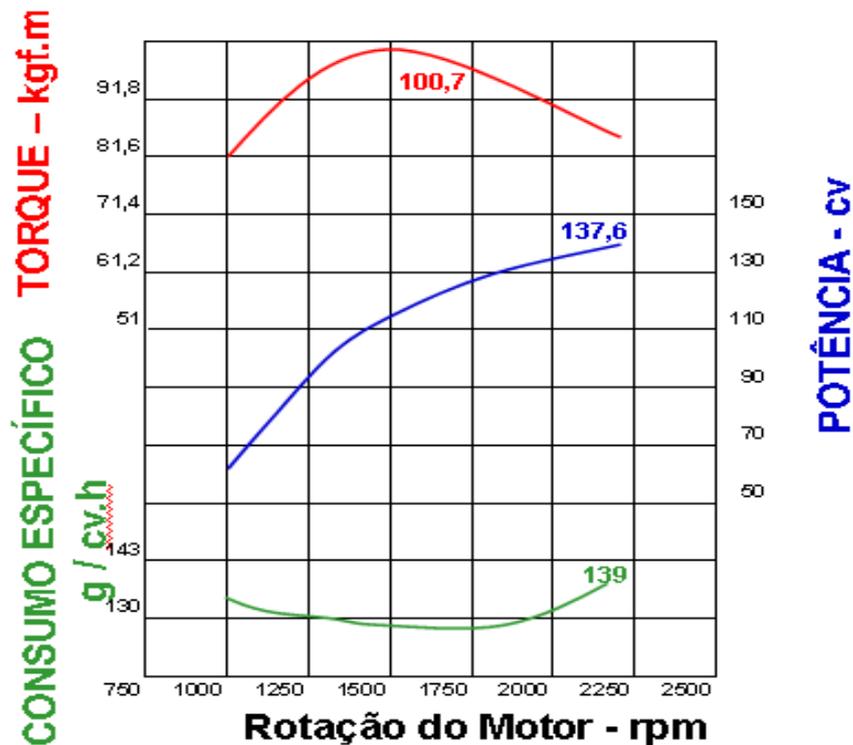


Figura 3.15. Curvas características de um motor diesel MWM 4.10TCA (VOLKSWAGEN, 2010).

### 3.5. Fatores de Correção de Potência

As condições atmosféricas são importantes para a determinação da potência dos motores, pois a quantidade de ar que um motor aspira ou que é introduzida no motor por sobrealimentação, depende da densidade do ar ambiente (BOSCH,2005). A pressão, temperatura e a umidade do ar ambiente interferem na variação de torque e potência, obrigando os fabricantes a utilizarem fatores de correção de potência conforme as normas de ensaios de motores utilizadas por eles. Esses fatores podem ser utilizados para estimarem-se os parâmetros de desempenho dos motores, potência mecânica e torque, a partir de qualquer condição atmosférica. No entanto, deve-se utilizar apenas um fator de correção para a norma utilizada, sob pena de obterem-se resultados divergentes dependendo da quantidade de fatores de correção (SODRÉ *et al.*, 2003).

O dinamômetro Bosch FLA 203 utilizado nos testes se baseia na correção de potência pela norma DIN 70020 cujo fator de correção (DIN, 1986 *apud* SODRÉ *et al.*, 2003) não leva em conta as mudanças na umidade do ar. Se as mudanças nas condições atmosféricas são pequenas em relação a condição padrão de pressão e temperatura, então a eficiência global do motor, o poder calorífico de combustível e a razão ar / combustível podem ser considerados constantes, onde a eficiência volumétrica do motor varia proporcionalmente a raiz quadrada da temperatura, sendo definido por:

$$CF = \frac{P_0}{P} = \left[ \left( \frac{p_0}{p} \right) \right] * \left( \frac{T}{T_0} \right)^{0,5} \quad (4)$$

onde:

$CF$  – Fator de correção;

$P$  – Potência em condição atmosférica local (W);

$P_0$  – Pressão em condição atmosférica local (hpa);

$p$  – pressão atmosférica local (kpa);

$T$  – temperatura local (K);

$T_0$  – Temperatura de referência (K);

Os valores para a condição ambiental de referência é  $P_0 = 101,325 \text{ Kpa}$  e  $T_0 = 293 \text{ K}$ .

Após o cálculo do fator de correção, obtém-se a potência corrigida através da expressão:

$$P_{cor} = C_f * P_{med} \quad (5)$$

Onde:

$P_{cor}$  – potência corrigida ;

$C_f$  – Fator de correção ;

$P_{med}$  – potência medida ;

O software do dinamômetro aplicará o fator de correção, aos pontos adquiridos, gerando o gráfico corrigido, de potência na roda e do motor estimado, conforme está ilustrado na figura 3.16.

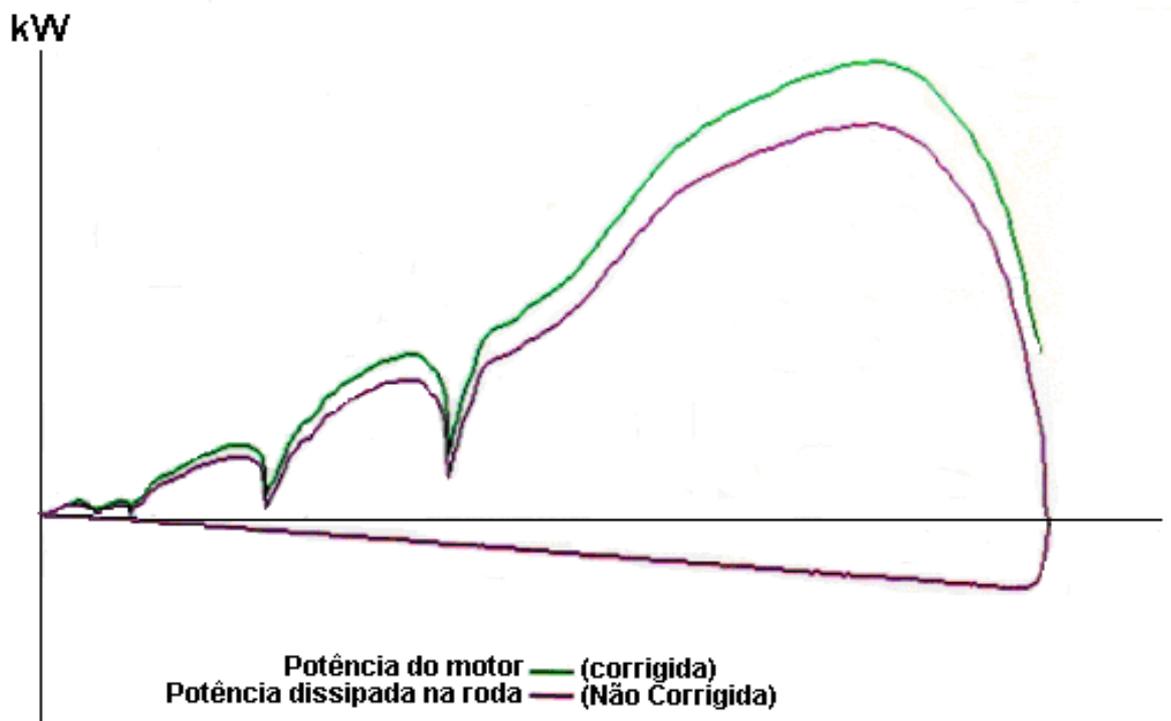


Figura 3.16. Exemplo de curva gerada pelo dinamômetro (verde) e corrigida (lilás).

### 3.6 Testes de Desempenho de Motores utilizando Biodiesel

Nas últimas duas décadas, houve um incremento considerável nos desenvolvimentos de testes de motores alimentados com Biodiesel, procurando verificar a performance, consumo e emissões de poluentes em diversas aplicações veiculares. Os países mais envolvidos nesses desenvolvimentos são Brasil, Índia, EUA e China. As análises foram agrupadas em ordem cronológica, para fins de comparação da evolução tecnológica do gerenciamento de motores, procurando analisar a performance (torque e potência), bem como o consumo específico.

Em 2000, WANG *et al.* testaram 9 veículos pesados (caminhões) fabricados entre 1987 e 1993 sem modificação nos motores utilizando dinamômetro de chassis, utilizando B20 (20% de Biodiesel e 80% de óleo Diesel) e B35 (35% de Biodiesel e 65% de Diesel), sendo estas muito aceitas nos EUA. As análises demonstraram haver pouca diferença no consumo comparativo entre as misturas de Biodiesel e Diesel, sendo estes motores equipados com injeção mecânica de combustível.

LEUNG (2003), realizou testes de performance e emissões de veículos, tanto em campo quanto em dinamômetros de chassis, usando variações de 0% (Somente Diesel), 20% de Biodiesel e 100% de Biodiesel. Nos testes em dinamômetro, foram verificados um total de 10 veículos, em sua maioria veículos de carga, onde foi apenas avaliada a potência, e a maior queda se deu em 5kW em um total de 125 kW de potência. Segundo as análises, ocorreu uma perda média de potência de 1,2% para misturas de 20% de Biodiesel e perda de 3% para Biodiesel 100%.

BARBOSA *et al.* (2008), realizaram testes de desempenho em um motor de ciclo Diesel, equipado com injeção mecânica, instalado em um trator variando-se percentuais de misturas de Diesel com 2%, 5%, 20% e 100% de Biodiesel obtido de óleo de soja transesterificado, empregando um dinamômetro com freio hidráulico AW DYNAMOMETER para máquinas agrícolas. Segundo as análises de desempenho realizadas verificou-se uma redução média de 1,31% de potência, queda de 7% de torque na utilização de Biodiesel 100% comparado com Diesel 100% e aumento da ordem de 19% no consumo de combustível.

O Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil (MCT, 2009) produziu uma coletânea de literatura técnica com vários testes e ensaios para a validação da utilização de mistura do Biodiesel em formulação de 5% com base de óleo de soja, por este ser a matéria prima mais utilizada na produção de Biodiesel no Brasil e o de mamona, por apresentar propriedades físico químicas distintas da maioria dos óleos produzidos, onde foram realizados testes em dinamômetro de bancada e em frota veicular dedicada apenas para os testes. Os motores e veículos testados foram escolhidos em função da representatividade no mercado e de sua tecnologia sensível as condições do combustível (principalmente motores com injeção eletrônica do tipo *common rail*). Com relação aos motores eletrônicos *common rail* neste estudo, primeiramente se utilizou da frota composta por 6 caminhonetes equipadas com motor MWM-International 3.0 com gerenciamento eletrônico, utilizando óleo Diesel puro sem adição de Biodiesel (B0), Diesel com 5% de Biodiesel de soja e Diesel com 5% de Biodiesel de mamona. Os resultados evidenciaram que a diferença de consumo de combustível médio não foi significativa após a rodagem aproximada de 100.000 km. Concomitante com o primeiro teste, foi verificado também em regime de frota, um ônibus marca Volkswagen equipado com motor MWM-International Acteon 6.12 TCAE EURO 3, também equipado com gerenciamento *common-rail*, no qual também em sua análise após 91.114 km, com a utilização de B5 não demonstrou alteração significativa no consumo do combustível. Os testes em bancada dinamométrica de chassis foram procedidos também com veículos Ford Ranger com motores eletrônicos iguais aos testes de frota, onde também foi utilizado o B5 como combustível, obtendo-se variação de potência média na ordem de 1 a 5%, sendo essa variação considerada normal em testes de dinamômetro, sendo portanto considerada com baixa variação significativa. Em comparação ao consumo específico, houve uma redução entre 1 a 5% para Biodiesel de soja e um aumento entre 1 e 2% nos veículos que rodaram com Biodiesel de Mamona. Por fim, cabe salientar um teste realizado com um motor MWM SPRINT 2.8 litros turboalimentado e com injeção eletrônica *common-rail*, variando-se misturas de Biodiesel de soja de 5%, 20%, 50% e 100%. A redução de potência utilizando B100 de soja foi de 10,4% a 3400 rpm e o torque máximo de 9,4%. Já o consumo específico aumentou em 14,6% para a rotação de potência máxima a 3400 rpm.

Em 2009 e em 2012, TZIOURTZIOUMIS *et al.*, ensaiaram nas mesmas condições um motor DW10 ATED 2.0L, 4 cilindros com injeção *common rail* em um dinamômetro de bancada de correntes parasitas, com uma mistura com 70% de Biodiesel (B70), verificando performance do sistema de injeção e parâmetros do motor. As comparações entre o Diesel e o B70, indicaram perdas significativas no desempenho do motor, onde o autor sugestiona que a causa seja provavelmente o poder calorífico inferior do Biodiesel comparado ao Diesel. Em seu segundo trabalho, as mesmas condições dos testes anteriores foram reproduzidas, porém agora verificando o estado do sistema de injeção eletrônica. As comparações entre o Diesel e o B70, indicaram novamente perdas significativas no desempenho do motor, sugestionando que deveriam ser feitas mudanças de configuração da injeção eletrônica para melhorar a performance durante os testes. O sistema de injeção apresentou trancamento da bomba de alta pressão, onde o autor sugestiona trabalhar em trabalhos futuros com porcentagens menores de Biodiesel na mistura .

TORRES *et al.* (2010), realizou ensaios em dois veículos movidos a diesel, ambos com injeção mecânica de combustível, em um dinamômetro de chassi, variando os percentuais de Biodiesel de 3%, 4%, 50% e 100%. As análises demonstraram perda de potência ao aumentar o teor de Biodiesel nos combustíveis para os dois veículos, onde foram verificados valores menores entre 7,6 e 7,9% na roda comparando as misturas entre 3 e 100% de Biodiesel.

NIETIEDT *et al.* (2010), ensaiaram em bancada dinamométrica um motor de trator, testando misturas com 10%, 20% e 100% de Biodiesel, comparando os resultados com aqueles obtidos em ensaios com o combustível Diesel de referência B5,concluindo que os melhores resultados em torque, potência e consumo, recaíram sobre o combustível com proporção de 10% de Biodiesel, com potência superior em 0,2% e consumo específico 0,5% inferior ao combustível com 5% de Biodiesel. O combustível com 100% foi o que apresentou pior performance comparado ao de 5%, com queda de potência na ordem 2,8%, bem como aumento no consumo específico em 10,9%.

WAGNER *et al.* (2013), analisaram a performance de 3 veículos, um veículo Jeep Liberty CRD ano 2006, com injeção eletrônica *common rail* e dois veículos Mercedes com injeção mecânica de combustível, um modelo E300 ano 1999 e um modelo 300 TD, ano 1984, todos equipados com câmbio automático e turbinados. Todos os veículos foram submetidos a testes em um dinamômetro de chassi inercial Dynojet 224X, com misturas de 15,30,40 e 50% de Biodiesel de óleo de soja. Os resultados mostraram que para misturas em torno de 15%, a perda de potência geral para os três veículos foi em torno de 1%. Para a mistura de 30%, todos os veículos mostraram perdas de potência inferiores a 0,5%. Além disto, para o motor diesel do veículo ano 2006, com a mistura de 50%, a queda foi de 5% e para os veículos com injeção mecânica, a perda foi mais significativa com a mistura B50, apresentando perda de 6,4%, enquanto o veículo 1984, apresentou queda de potência de 4,7%.

GITTE *et al.* (2013), publicaram uma comparação de literatura entre os anos de 2005 e 2012, verificando os testes com motores de diversas configurações (mono e multicilindros), bem como várias utilizações de Biodiesel (mamona, óleo de fritura, girassol, amendoim, canola e óleo de soja). Com base nas análises registradas, a utilização de Biodiesel levou a uma redução de potência, sendo a principal razão para isso o fato do poder calorífico ser menor do Biodiesel em relação ao Diesel. Outro fator observado é o consumo de combustível, para o qual todos os artigos avaliados na revisão mostram que a medida em que se aumenta o percentual de Biodiesel na mistura, aumenta-se o consumo específico, sendo o baixo poder calorífico de Biodiesel em relação ao Diesel apontado como fator preponderante, nesta resposta. Cabe salientar que as diferentes naturezas das matéria-primas de Biodiesel acarretam em diferentes valores de poder calorífico têm impacto sobre a economia de combustível.

SERRANO *et al.* (2012) conduziram ensaios de avaliação de dados de consumo de combustível e emissões em um motor ensaiado em banco de testes e em uma frota de ônibus. O motor conduzido no teste foi um motor Volvo TD41 com 6 cilindros em linha e 3,6 litros de deslocamento, desenvolvendo máximo de 110KW de Potência com injeção mecânica de combustível. Para os ensaios foram utilizadas misturas B0 (diesel comercial), B10, B20, B30, B50 e B100), sendo o Biodiesel

adicionado preparado com uma proporção de 40% óleo de soja e 60% óleo de canola. O motor foi ensaiado baseado na norma ESC de 13 pontos para dinamômetros de chassis. Os resultados obtidos sobre o consumo de combustível revelaram que, para diferentes regimes de operação, o consumo é diversificado; porém houve tendência para o combustível com misturas B10 e B20 tendo pequenas reduções de consumo em alguns regimes, o que corresponde às rotações mais baixas do motor. Existiram algumas variações em misturas com porcentagem maior (B50 e B100), mas, nesses casos, é possível notar um aumento do consumo global em todos os regimes. Na média, considerando-se todo o ciclo, as variações de consumo para misturas com porcentagem baixa de Biodiesel (B10-B20), sobre o combustível Diesel de petróleo (B0), são inferiores a 2% e aumentando-se a proporção de mistura, o aumento de consumo a cada passo de teste tiveram picos de até 22% sobre o diesel comum. Ainda segundo Serrano et al (2013), é possível apontar que o valor de poder calorífico do Biodiesel que é inferior ao Diesel, não é o único aspecto que comanda a eficiência energética da combustão contendo o Biodiesel. Para misturas entre B10 e B20, alguns outros aspectos contribuem para a produção de mesma potência, com menores quantidades de energia disponível. O oxigênio contido na mistura, uma viscosidade mais elevada, as taxas de evaporação e densidade são alguns aspectos que poderiam desempenhar um papel importante neste processo, demonstrando a necessidade maior de investigação.

SILVA (2013) realizou ensaios em um grupo gerador com um motor Hyundai D4BB-G1, realizando testes de performance, desgaste e emissões de B5 a B100 abastecido com 100% de biodiesel, testando dois combustíveis diferentes: 100% biodiesel de Palma e 100% biodiesel de mistura de soja (70%), algodão (20%) e sebo bovino (10%). Após 100 horas de teste, as análises demonstraram que houve um aumento de consumo específico da ordem de 11,58% com o biodiesel de Palma e 8,11% na operação com o biodiesel de soja, algodão e sebo bovino, bem como seu desempenho que diminuiu nos mesmos percentuais, justificando para isso o menor poder calorífico e maior viscosidade em relação ao Diesel.

HOW *et al.* (2014) investigaram performance, emissões, combustão e efeitos de vibração em um motor 4 cilindros turbinado com injeção *common rail*, utilizando Diesel comum e 4 misturas utilizando Biodiesel de côco (B10, B20, B30 e B50),

sendo ensaiado em um dinamômetro de correntes parasitas de bancada de 150 kW de potência. Após os testes, devido ao poder calorífico inferior do Biodiesel, aconteceram aumentos entre 5 e 7% do consumo específico, variando-se as condições de carga. Além disso, uma redução da potência específica do motor ensaiado entre 0,5 e 3,2% em toda a variação de carga.

KHALID *et al.* (2014) analisaram em um dinamômetro de chassis uma camionete Mitsubishi Pajero, com motor 4 cilindros turboalimentado com injeção mecânica de combustível, fazendo variar as misturas de combustível com Diesel e Biodiesel (variando de 5, 10 e 15%), fazendo variar no dinamômetro a rotação de 1500 rpm a 3000 rpm, com incrementos de 500 rpm, com variação de carga de 0,50 e 100%. Após análise dos resultados, verificou-se que a potência de frenagem é similar e que o torque decresce com o aumento da proporção de mistura, porém, em cargas elevadas ocorreu inclusive aumento de torque devido a uma combustão mais completa e a quantidade maior de oxigênio contido na mistura.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Sala do Dinamômetro de Rolos do Senai Automotivo Porto Alegre

O Centro de Formação Profissional Senai Automotivo Porto Alegre possui diversos equipamentos próprios para avaliar motores e veículos automotivos, cujo intuito é a utilização concomitante com as aulas do curso técnico em manutenção automotiva. Para a execução deste trabalho, foram cedidos gentilmente para os estudos um veículo Ford F-250 4x4 ano 2005 , o aparato de medição de consumo de combustível (Balança Sartorius + Tanque auxiliar de combustível) e o dinamômetro de chassi Bosch FLA 203.

#### 4.1.1. Veículo Automotivo

Foi utilizado para os testes um veículo marca Ford, modelo F-250 com tração 4x4, de motor de combustão interna por compressão (ciclo Diesel), equipado com motor Cummins ISB Maxpower 4 cilindros cujas especificações se encontram nas tabelas 1 e 2. O veículo utilizado está ilustrado na Figura 4.1.

Tabela 1. Especificações técnicas do motor do veículo F250 utilizada nos testes (FORD,2006).

Nome do motor	Motor Cummins Max Power
Número de cilindros/disposição	4 – linha
Potência (cv/kW) a RPM	203/149,2 a 2900
Torque (kgfm/Nm)a RPM	56/560 a 1500
Ciclo	Diesel 4 tempos
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	3920
Relação de compressão	17,3:1
Sistema de injeção	<i>common rail</i> EURO III

Tabela 2. Especificações técnicas do sistema de transmissão do veículo F250 utilizada nos testes  
(FORD, 2006)

---

Câmbio	5 marchas com caixa de redução
Relações de marcha	1ª: 4,134:1
	2ª: 2,365:1
	3ª: 1,419:1
	4ª: 1,000:1
	5ª: 0,831:1
	Ré: 3,790:1
Diferencial Dianteiro (relação)	3,55:1
Diferencial Traseiro (relação)	3,55:1
Pneus	265/75 R16



Figura 4.1. Ford F250 4x4 Diesel utilizada nos ensaios.

#### 4.1.2. Aparato Medidor de Consumo de Combustível

Para realizar a medição de consumo de combustível, foi montado um aparato medidor que utiliza o princípio gravimétrico de medição, composto de uma balança de precisão Marca Sartorius modelo PMA 7500 e um tanque de alumínio com capacidade para 4,6 litros de combustível, com saída de combustível e retorno, já que a medição com o tanque principal se mostrou dificultosa devido ao grande volume (62 litros) para manuseio e medição das misturas. Um cuidado importante para a medição foi a instalação do retorno de combustível para o tanque medidor, pois isso garante a medição exata do consumo de combustível, já que a alimentação e o retorno de combustível no mesmo tanque fazem com que se saiba o que foi consumido. Na Figura 4.2 está demonstrado o aparato medidor, e na Tabela 3 estão ilustradas as especificações da balança medidora.



Figura 4.2. Aparato medidor de combustível.

Tabela 3. Especificações da Balança Precisão SARTORIUS PMA7500 (SARTORIUS, 2016)

Capacidade Máxima de medição	7500 g
Tamanho Prato	Ø 233 mm
Dimensões (LxPxA)	233 x 335 x 387 mm
Peso líquido, aprox.	3,3 kg
Peso de calibração	11 lbs, classe F2 ou melhores
Norma de proteção contra o fogo	TÜV NORD CERT, de acordo com HD 384.4.482 S1: 1997
Proteção contra Poeira / Água de acordo com IEC 529	IP 40
Cálculo por função fator (para misturar quantidades fracionadas)	0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0 litros
Requisitos de energia, Fonte de alimentação AC	115 - 240 V
Frequência da linha	50 - 60 Hertz
Exibição	backlit LCD
Interface de comunicação	RS232
Max. consumo de energia	16 VA
Voltagem	8 VA
Faixa de temperatura	0 - 40 °C
Legibilidade	0,1 g
Gama de pesagem	7500 g

Após a medição de consumo, a norma NBR 1585 (1996) da ABNT, determina o consumo específico de combustível que é definido pela equação (7) :

$$C_s = C_h / N_e \quad (7)$$

onde :

$C_s$  - consumo específico de combustível (g/kW.h);

$C_h$  - Consumo Horário (g/h);

$N_e$  - Potência efetiva (kW).

### 4.1.3. Combustíveis Utilizados

Para a realização e verificação dos testes foram utilizados dois combustíveis: o Diesel S10 (B7) e Biodiesel fornecido pela empresa Oleoplan S.A. A Figura 4.3 mostra os recipientes de acondicionamento de combustível.



Figura 4.3. Reservatórios de acondicionamento de combustível  
(A) reservatório Diesel S10; (B) reservatório Biodiesel.

#### 4.1.3.1. Diesel S10 (B7)

A Lei Federal número 13.033 estabelece os percentuais de adição de Biodiesel no Diesel comercial. Em novembro de 2015, o percentual previsto na lei é de 7% em volume de combustível. O óleo Diesel utilizado neste trabalho foi adquirido em posto de combustível com bastante rotatividade de abastecimento, devido a grande movimento de caminhões, na cidade de Porto Alegre em Novembro de 2015, contendo assim 7% de Biodiesel. As misturas foram consideradas em volume a partir da formulação B7. No apêndice A, pode ser visto o boletim técnico com as principais propriedades do Diesel S10 B7, segundo ANP (2011).

#### 4.1.3.2. Biodiesel (B100)

O Biodiesel utilizado neste experimento, foi gentilmente cedido pela empresa Oleoplan S/A, na quantidade aproximada de 50 litros para os testes. Cabe salientar que a composição do Biodiesel fornecido é de 74,5% óleo de soja, 25% de gordura animal, 0,5% de óleo recuperado e metanol. Este combustível fornecido, segundo a empresa, está em conformidade com a resolução ANP N°45 de 25/08/2014. No apêndice B, pode ser visto o boletim de ensaio que a empresa forneceu com a caracterização do combustível.

#### 4.1.4. Dinamômetro de Chassi Bosch FLA 203

O dinamômetro de chassi utilizado da marca BOSCH, modelo FLA 203, é capaz de avaliar a potência mecânica dissipada nas rodas, a potência dissipada devido ao atrito e a potência do motor (potência da roda somada a potência dissipada). Possui dois rolos inerciais, um freio de corrente parasita marca FRENELSA, uma célula de carga e um sistema de controle e aquisição de dados. Internamente possui uma estação medidora de condições ambientais que analisa a medição da pressão de ar e temperatura do teste para fazer o cálculo e posterior correção de potência (BOSCH, 2001). Os dados técnicos do dinamômetro estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Dados Técnicos BOSCH FLA 2003 (BOSCH, 2001)

Diâmetro dos rolos (2)	318mm
Comprimento dos rolos	2200mm
Peso máximo por eixo	2000 kg
Sistema operacional	MS-DOS
Correção de potência (Norma)	DIN 70020/CEE801269
Potência máxima suportada	400 kW
Velocidade máxima	270 km/h
Correção de pressão/Temp. ar admitido	Autom.
Grau de inexatidão do banco (Pot. dinâmica)	+/-0,5% +/- 2kW
Grau de inexatidão do banco (Pot. estática)	+/-0,5% +/- 2kW

Tabela 4. Dados Técnicos BOSCH FLA 2003 (BOSCH, 2001) (cont.)

Medição de pressão do ar	700 a 1050 hPa
Grau de inexatidão pressão do ar	+/- 0,6% do valor medido +/- 6hPa
Medição de temperatura do ar	-20 a 120 °C
Grau de inexatidão temperatura do ar	+/- 2°C

Segundo Bosch (2001), as potências do veículo podem ser medidas através de análise estática ou de análise dinâmica. Entretanto, podem ocorrer diferenças entre potências, pois as condições se modificam de teste para teste, como por exemplo o atrito pneu-rola, temperatura e pressão atmosférica. Para a análise estática, define-se em software os parâmetros de velocidade e rotação do motor, em seguida acelerando os rolos contra a resistência do freio de correntes parasitas. Através da célula de carga acoplada ao dinamômetro, é medido o torque e sabendo-se a rotação, a potência na roda é determinada.

Para análise dinâmica, o procedimento diz que o veículo deverá ser acelerado e trocar as marchas por volta da 2000 rpm, até a marcha que contenha uma relação de engrenamento que a rotação do motor seja aproximadamente a de saída da caixa de câmbio, sendo esta normalmente a quarta marcha. Após atingida esta relação, se acelera ao máximo e o sistema de aquisição mede a velocidade dos rolos inerciais, utilizando o princípio da inércia, podendo ser verificada a potência. Após deve-se deixar o veículo em condição neutra (“ponto morto”) e os rolos irão desacelerar até pararem completamente, devido aos atritos do conjunto de transmissão, roda e pneu, determinando assim a potência dissipada. A soma das duas potências é igual a potência do motor.

A Figura 4.4 apresenta o dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do centro de formação profissional Senai Automotivo Porto Alegre.



Figura 4.4. Dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do SENAI AUTOMOTIVO PORTO ALEGRE.

- (A) sistema de controle e aquisição de dados. (B) rolos inerciais.  
 (C) freio de corrente parasita e célula de carga.

#### 4.1.5. Rotação do Motor

A medição da rotação do motor é um parâmetro importante para a utilização do dinamômetro, pois as verificações de torque e potência são geradas a partir desta medição. Normalmente, é utilizado o próprio sensor de rotação do veículo a ser analisado, porém neste caso, foi necessária a utilização de um captador auxiliar de rotação, devido a incompatibilidade do hardware do dinamômetro com o sensor original do motor do veículo. Foi utilizado um sensor piezoelétrico (sensor montado com base em um cristal cuja propriedade é gerar impulsos elétricos a partir de vibrações), onde a ignição do motor gera uma vibração que é captada pelo sensor, sendo enviada ao módulo de controle do dinamômetro para ser processada. A montagem pode ser vista na Figura 4.5, onde o mesmo está montado sobre o cabeçote do motor e sua fixação é magnética.

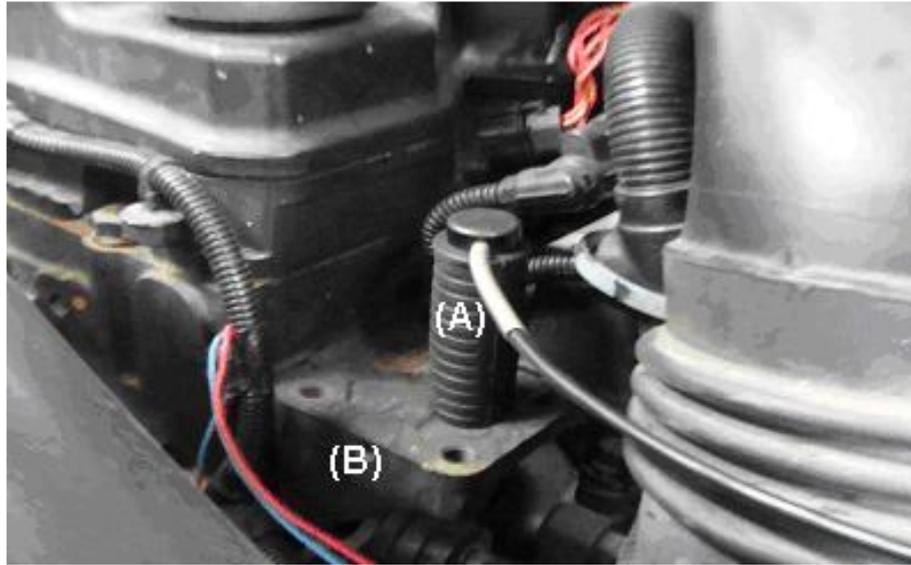


Figura 4.5. Montagem do sensor piezoelétrico (A) sobre o cabeçote do motor (B).

Este sensor é ligado a um amplificador/ condicionador de sinal, cujo modelo é o PRO 8500 do fabricante NAPRO, onde as características do equipamento estão ilustradas na tabela 5, e a Figura 4.6 ilustra o condicionador de sinal modelo PRO 8500.

Tabela 5. Especificações do medidor universal de rotação NAPRO PRO 8500 (NAPRO (2016))

Faixa de medição da rotação	400 a 9999 rpm
Erro Máximo	15 rpm em rotações abaixo de 2000 rpm
	2% em rotações acima de 2000 rpm

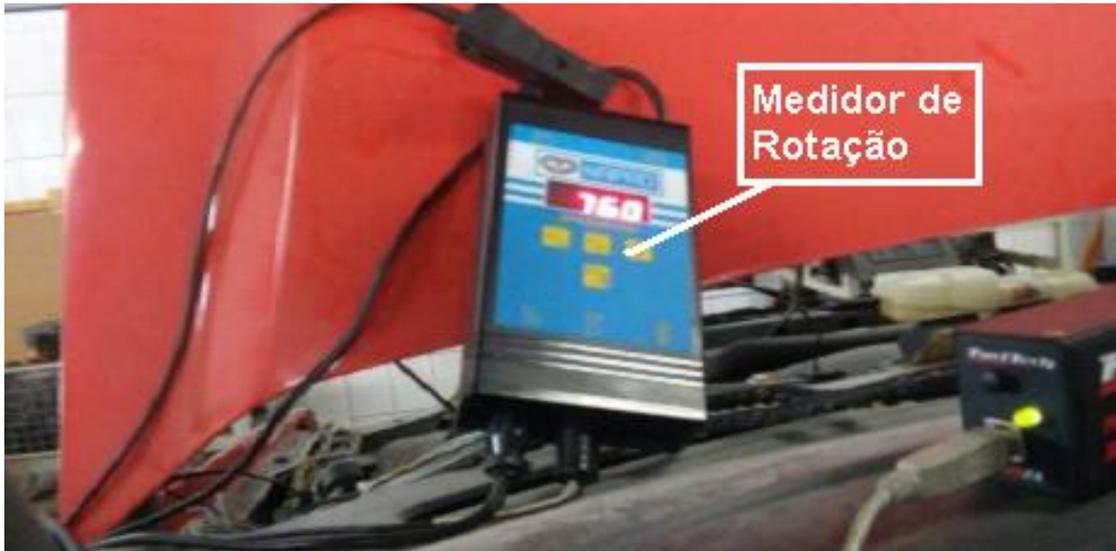


Figura 4.6. Medidor universal de rotação NAPRO PRO 8500.

#### 4.1.6. Ensaios

Para a realização dos ensaios, se utilizou como base de cálculo, os valores de rotação calculados pela norma ESC (*European stationary cycle*), que é utilizada para caracterizar o torque, potência e emissões de poluentes. Normalmente, o teste seria realizado em 28 minutos para cada combustível, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Passos de operação do ciclo ESC (ESC, 2015).

Passo	Rotação	Carga %	% de tempo do Teste	Duração (min.)
1	Lenta	0	15	4
2	A	100	8	2
3	B	50	10	2
4	B	75	10	2
5	A	50	5	2
6	A	75	5	2
7	A	25	5	2
8	B	100	9	2
9	B	25	10	2
10	C	100	8	2
11	C	25	5	2
12	C	75	5	2
13	C	100	5	2

As rotações A, B e C são calculadas através da norma, sendo que A é a rotação de 25% de rotação de máxima potência, B é a rotação de 50% e C a rotação de 75% de rotação máxima.

Porém, devido à disponibilidade dos equipamentos e atraso na entrega do combustível (Biodiesel), o teste teve de ser alterado para as condições impostas, o que resultou em um cronograma de uma semana de teste, do dia 16/11/2015 a 20/11/2015. Procurou-se então utilizar uma metodologia similar, porém com menos pontos de coleta de dados, procurando-se abranger o espectro da curva de torque e potência do motor com plena carga na rotação determinada. A seqüência de passos utilizados durante os testes, já com os valores de rotação calculados está ilustrada na Tabela 7.

Tabela 7. Passos de operação do ciclo utilizado.

Passo	Rotação (rpm)	Carga %	% de tempo do Teste	Duração (min.)
1	750	0	40	4
2	1450	100	20	2
3	2000	100	20	2
4	2600	100	20	2
Total	-	-	100	10

Após definida a metodologia de ensaio, procurou-se antes da execução dos testes realizar uma revisão criteriosa no veículo, para evitar problemas durante os testes, sendo substituídos os seguintes itens:

- Óleo lubrificante do motor e elemento filtrante;
- Óleo da transmissão e diferencial;
- Fluido de arrefecimento;
- Fluido de freio;
- Fluido da direção hidráulica;

- Correia de acessórios;
- Filtro de Ar;
- Filtro de combustível.

Além dos componentes substituídos, foi realizada a manutenção preventiva conforme orientação do fabricante. Com relação ao dinamômetro, foram revisados os rolamentos de apoio, cabeamento de comunicação e célula de carga, quanto a possíveis danos ou problemas quaisquer.

Após a etapa da revisão, foram feitos testes preliminares para verificar o comportamento do veículo com relação ao dinamômetro e a medição do consumo de combustível. Esses testes iniciais foram feitos com diesel S10 (B7), apenas para verificação do comportamento. A Figura 4.7 apresenta um esquemático da montagem dos instrumentos e componentes utilizados.

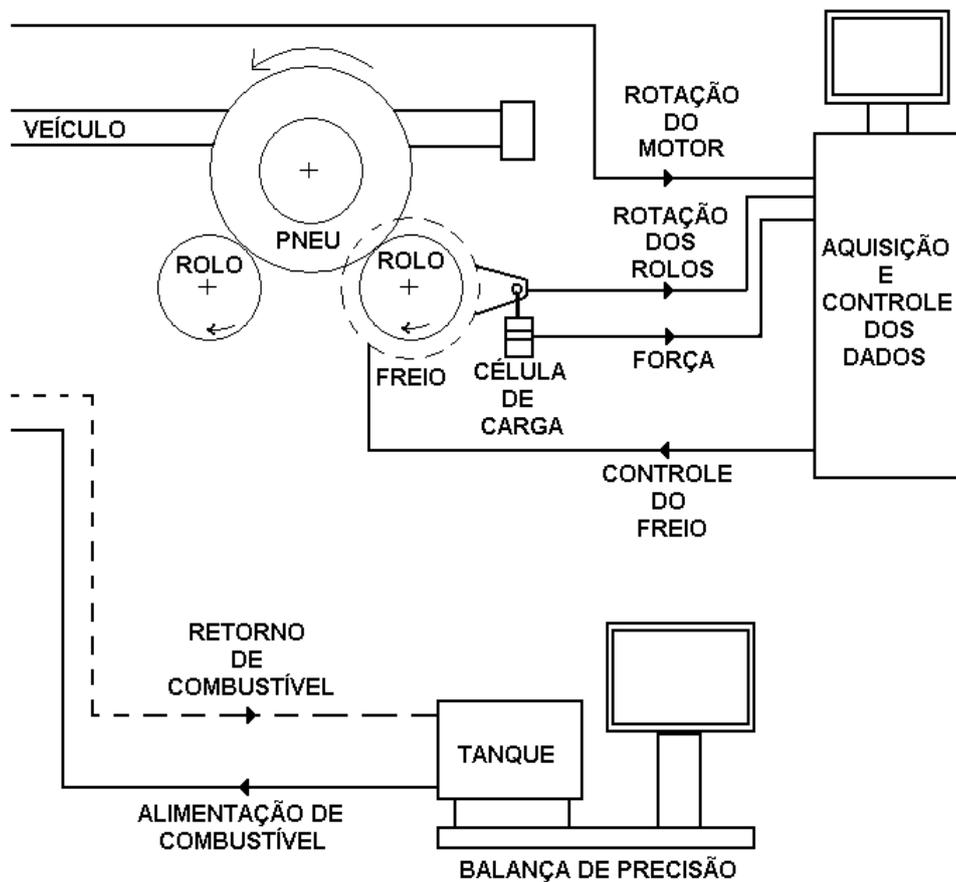


Figura 4.7. Esquemática da montagem dos testes.

#### 4.1.6.1 Protocolos de Ensaio

Todos os ensaios foram realizados seguindo o procedimento a seguir:

- Primeiramente, o veículo foi colocado nos rolos e realizado o ancoramento do mesmo com o solo, através de cintas catraca como procedimento de segurança, devido aos riscos de saída de cima do rolo, conforme pode ser visto na Figura 4.8;



Figura 4.8. Ancoramento do veículo através de cinta no dinamômetro.

- O aquecimento do motor era realizado sempre em torno de 10 minutos, até o motor atingir a temperatura normal de trabalho, em torno de 90°C, com o veículo apenas rodando sobre os rolos, pois o manual do equipamento nos fala que o atrito de aquecimento da interface pneu-rolo é importante para as medições de potência;

- O tempo de ensaio, excetuando-se as medidas de potência e torque máximo, para cada combustível foi definido em 10 minutos, conforme a metodologia de ensaio, porém, o tempo total de preparação, teste e finalização ficava próximo de 40 minutos. As medições de consumo de combustível foram tomadas quando o veículo entrava na rotação especificada e esperava-se um minuto de estabilização

da rotação e da carga do dinamômetro, para então cronometrar o tempo de 2 minutos, com o auxílio de um cronômetro, conforme preconizado nos ensaios e anotar os parâmetros de potência adquiridos pelo dinamômetro;

- A troca do combustível era feita depois do mesmo ser consumido até o final do volume do tanque. Após isso, com o auxílio de provetas graduadas, as misturas entre B7 e B100 eram produzidas. O primeiro combustível utilizado foi o Diesel S10 (B7), onde a partir desta mistura base foram sendo adicionados percentuais de 3% para a formulação do B10 e após, de 5 em 5% de volume até o Biodiesel puro (B100). Após a inserção da nova mistura, deixava-se o veículo funcionando por um minuto, até que toda a mistura nova entrasse na linha de combustível, para evitar erros. A Figura 4.9 ilustra as provetas utilizadas na formulação das misturas, bem como o aparato medidor de consumo durante uma troca de combustível.

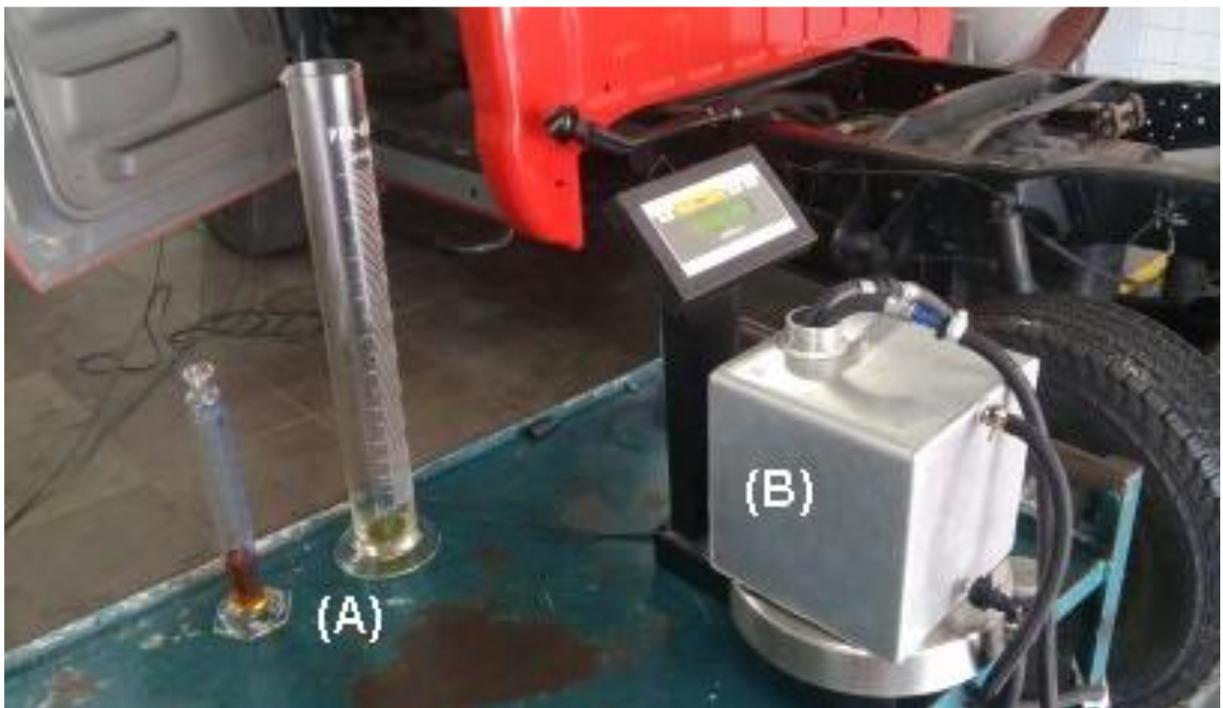


Figura 4.9. Formulação das misturas

(A) Provetas graduadas. (B) Aparato medidor de consumo de combustível.

- Após o combustível ser completado no tanque, bem como decorrido o tempo de aquecimento, eram ligados os ventiladores para resfriamento do veículo, bem como do freio dinamométrico, onde então o veículo era mantido em marcha lenta por 4 minutos, sendo após isso colocado em plena carga, por dois minutos, onde eram anotados os consumos e a potência gerada na rotação, passando pelas

rotações de 1450, 2000 e 2600 rpm. Após isso, sem anotação de consumo de combustível devido a rapidez do teste e utilizando somente a análise dinâmica do dinamômetro, era verificado uma curva de torque e potência da formulação do combustível ensaiado.

- O ensaio foi interrompido, todos os dados descartados e o teste reiniciado nos casos de pane no grupo de equipamentos, o que aconteceu por duas vezes, onde aconteceu travamento do hardware do dinamômetro durante os testes com mistura Diesel S10 + 35% de Biodiesel e S10 + 40% de Biodiesel, no dia 17/11/2015 e uma vez por falha humana na medição de consumo de combustível para o S 10 + 50% Biodiesel, no dia 18/11/2015.

- Todos os dados de cada combustível foram anotados em uma planilha manual e após, convertidos em uma planilha eletrônica, para efetuação dos cálculos de consumo específico, bem como a anotação de torque e potência máxima registrados ao final de cada ensaio.

- Todos os ensaios foram verificados com o motor a plena carga, ou seja, com o pedal do acelerador completamente acionado, para verificar a performance máxima de cada combustível (torque, potência e consumo específico). Os combustíveis estiveram sempre em condições similares a rodagem original do veículo, tendo apenas a modificação para instalação do aparato medidor de consumo, sem quaisquer outras modificações.

- Durante todos os ensaios, foram sempre verificados conforme o painel do veículo, anteriormente testado e verificado, a pressão de óleo e temperatura do líquido de arrefecimento do motor, pois como o veículo está sobre carga do dinamômetro e está numa condição sem corrente de ar para resfriamento, esses dados são cruciais para o bom funcionamento do motor. Em nenhum teste foi necessário a parada total devido a superaquecimento do motor ou queda na pressão de óleo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Dados Atmosféricos

Os resultados apresentados referem-se aos testes realizados no período de 16 a 20 de novembro de 2015. Outros ensaios anteriores foram implementados para calibração e verificação dos equipamentos utilizados nas medições, bem como o comportamento veicular durante as verificações. A partir dos dados gerados na estação interna do sistema de controle do dinamômetro e de uma estação de medição de umidade na sala do dinamômetro, foram dispostos na Tabela 8, os dados atmosféricos dos dias de teste, bem como o fator de correção calculado pelo programa de controle baseado na norma DIN 70020, conforme manual do dinamômetro FLA 203 Bosch.

Tabela 8. Condições ambientais nos dias dos ensaios.

Dia do teste	Combustível	F.C.C.	T.ar (°C)	P.A. (hpa)	UR (%)
16/11/2015	B7	1,027	26	996	78,3
17/11/2015	B10	1,038	31	994	95,6
17/11/2015	B15	1,038	31	994	95,5
17/11/2015	B20	1,035	30	994	95,5
17/11/2015	B25	1,034	29	995	95,4
17/11/2015	B30	1,039	32	995	95,5
17/11/2015	B35	1,043	31	989	95,3
18/11/2015	B40	1,042	31	990	79,5
18/11/2015	B45	1,041	30	990	79,3
19/11/2015	B50	1,024	25	998	82,7
19/11/2015	B55	1,024	25	998	82,6

Tabela 8. Condições ambientais nos dias dos ensaios (cont.)

Dia do teste	Combustível	F.C.C.	T.ar (°C)	P.A. (hpa)	UR (%)
19/11/2015	B60	1,029	28	998	82,4
19/11/2015	B65	1,028	28	999	82,3
19/11/2015	B70	1,028	28	999	82,3
19/11/2015	B75	1,028	28	999	82,3
19/11/2015	B80	1,026	27	999	82,1
20/11/2015	B85	1,024	30	1006	70,6
20/11/2015	B90	1,024	30	1006	70,5
20/11/2015	B95	1,020	27	1005	70,6
20/11/2015	B100	1,027	31	1005	70,7

## 5.2 Ensaios com o óleo Diesel S10 B7

O Diesel S10 (B7), foi escolhido como combustível padrão para fins de comparação de desempenho perante as outras misturas, devido ao mesmo ser processado e homologado para a utilização veicular. Durante o primeiro dia de ensaios (16/11/2015), o veículo foi abastecido e analisado apenas com o mesmo, para levantamento de dados comparativos. O resumo dessas condições está postado na Tabela 9.

Tabela 9. Desempenho obtido com o óleo diesel B7.

Parâmetro	Valor Obtido	Rotação (rpm)
Torque Máximo (N.m)	511,8	2060
Potência máxima (kW)	122,7	2500
Consumo específico mínimo (g/kW.h)	253	1450

## 5.3. Análise do Consumo Específico de Combustível

O consumo específico de combustível mostra a qualidade com que o motor oxida o combustível durante o processo de ignição, fornecendo uma idéia de eficiência, ou seja, a mistura com menor consumo é o combustível mais eficiente do ponto de vista de combustão. As misturas testadas foram preparadas a partir de

com a adição de Biodiesel ao Diesel, variando-se os percentuais de volume de B7 a B100, cujo volume do tanque era de 3500 ml, sendo os resultados compilados e ilustrados para facilitar entendimento na Figura 5.1.

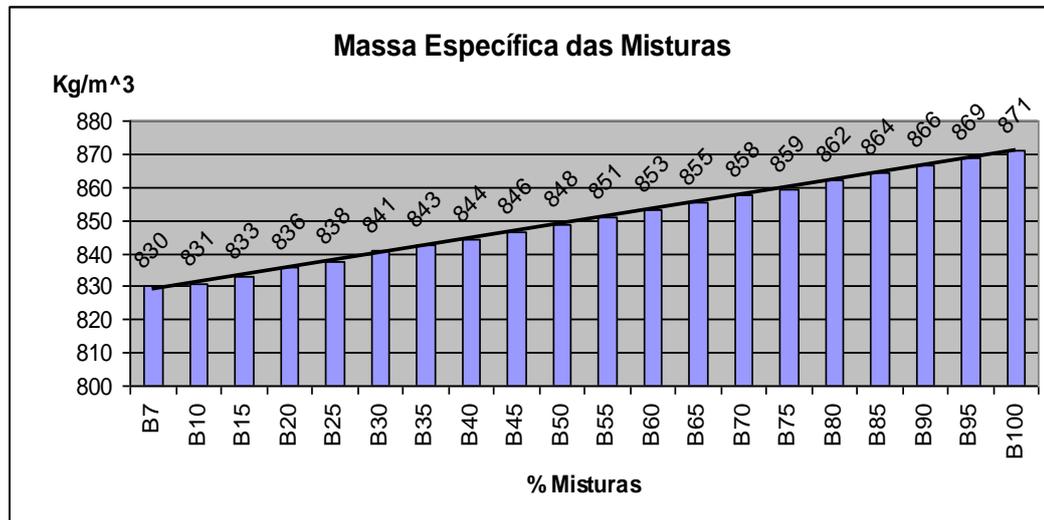


Figura 5.1. Massa específica das misturas de B7 a B100.

Após a compilação dos registros, é possível verificar a existência de um padrão no consumo de combustível, confirmando os dados apresentados da literatura (TZIOURTZIOUMIS, 2009 e 2012; GITTE *et al.*, 2013; SERRANO *et al.*, 2012), demonstrando um maior consumo de combustível quando da adição de Biodiesel ao Diesel, onde concordam que a diminuição do poder calorífico do combustível é o fator principal responsável pelo aumento de consumo, diminuindo o seu poder de queima na câmara de combustão, deixando assim a combustão menos eficiente. Entretanto, SERRANO *et al.* (2012), afirma que há outros fatores que contribuem para a produção de mesma potência com menores quantidades de energia disponível e que não é somente o poder calorífico o responsável pela eficiência energética na combustão, explicando a queda de consumo específico nos testes, principalmente para proporções entre B10 e B20, diminuindo assim o consumo específico. Durante os ensaios, ficou demonstrado que o menor consumo específico se situou entre as misturas de B10 e B20 no regime de rotação de 1450 rpm (246,4 g/kW.h) e a 2000 rpm (275,2 g/kW.h), e em B15 a 2600 rpm (384,3 g/kw.h), indicando provavelmente uma mistura ideal para consumo específico deste motor com as misturas dos combustíveis entre esses dois valores. A Figura 5.2

mostra a comparação entre os consumos específicos de B7 a B30, nas rotações de 1450 rpm, 2000 rpm e 2600 rpm, onde existe uma faixa de menor consumo.

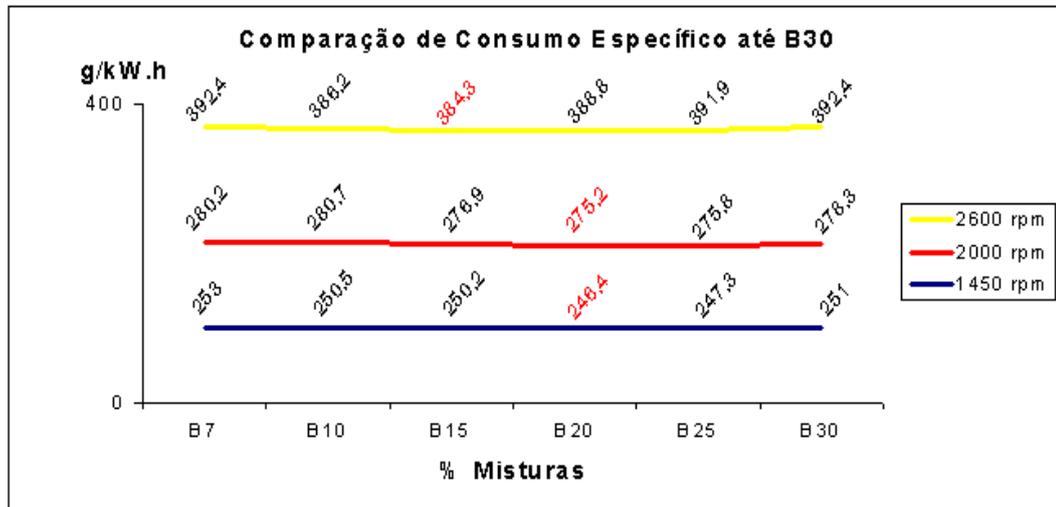


Figura 5.2. Consumo específico de combustível até B30 para as rotações de 1450, 2000 e 2600 rpm.

As diferenças de consumo entre B7 e B100 chegaram a 29,1% a 1450 rpm, 21,2% a 2000 rpm e 11,24% a 2600 rpm, sendo esta última similar a encontrada por MCT (2009) e SILVA (2013), indicando coerência com a literatura. As Figuras 5.3 a 5.5 ilustram o comportamento do motor em relação aos consumos específicos nos regimes de 1450 rpm, 2000 rpm e 2600 rpm a plena carga.

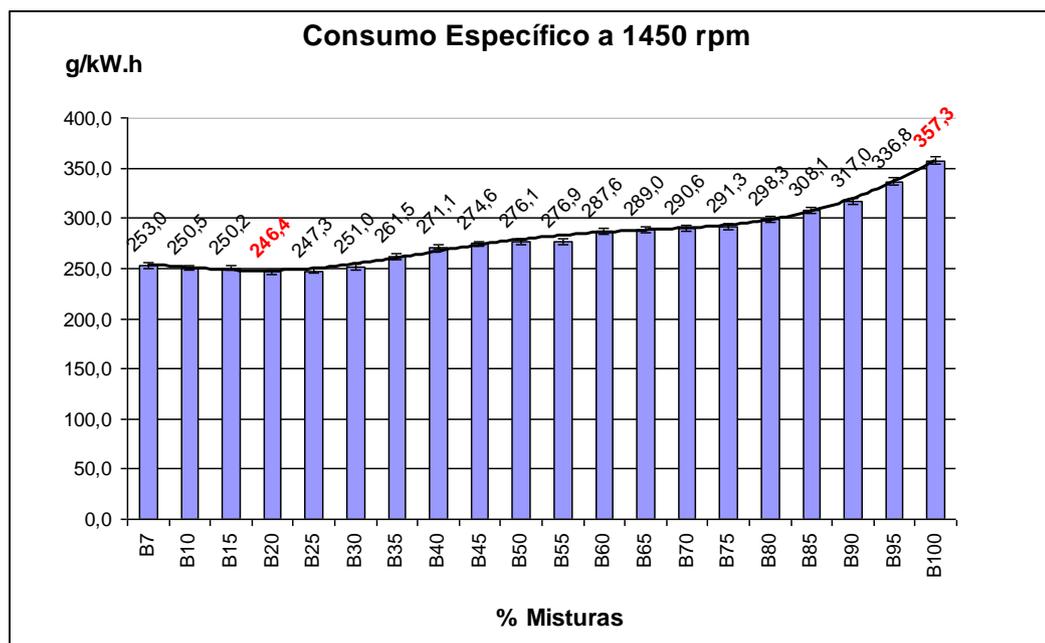


Figura 5.3. Consumo específico de combustível a plena carga registrado na rotação de 1450 rpm.

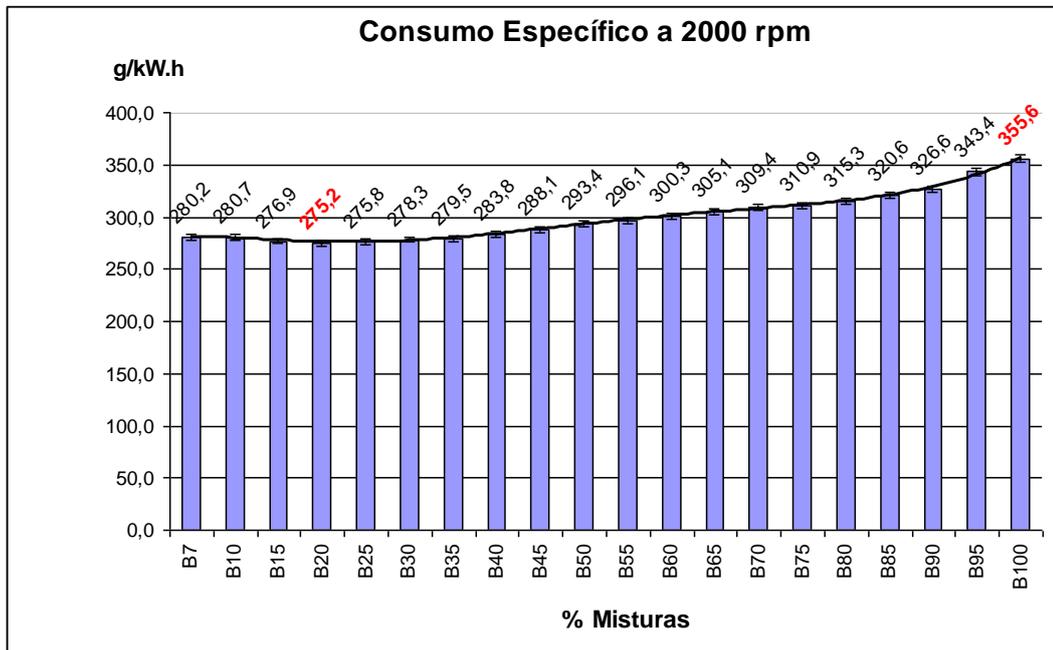


Figura 5.4. Consumo específico de combustível a plena carga registrado na rotação de 2000 rpm.

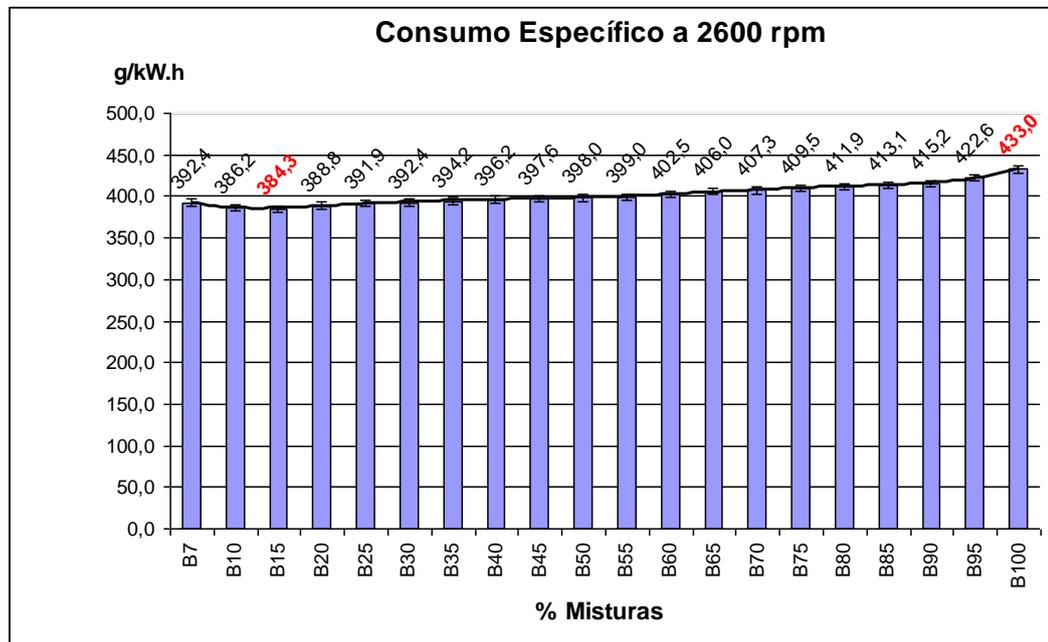


Figura 5.5. Consumo específico de combustível a plena carga registrado na rotação de 2600 rpm.

## 5.4 Análise do Torque

O torque máximo de um motor é um parâmetro de análise também da eficiência da queima do combustível, sendo que quanto maior for a eficiência de queima, o motor conseguirá produzir um torque maior. As medições para comparação de torque foram realizadas a plena carga e a rotação de aproximadamente 2000, conforme os parâmetros do fabricante.

A Figura 5.6 demonstra o torque máximo alcançado por cada mistura, apontando claramente para uma diminuição de torque a medida em que é adicionado o Biodiesel ao óleo S10, seguindo a curva de tendência adicionada, conforme também observaram, entre outros, MCT (2009), HOW (2014) e TZIOURTZIOUMIS *et al.* (2009; 2012). Há também pontos de ganho de torque, coincidentemente com as misturas entre B10 e B20, concordando com a literatura de SERRANO *et al.* (2012).

Para facilitar a visualização da diferença de torque, a Figura 5.7 compara o percentual de torque com o fabricante, que utiliza um Diesel isento de misturas, sendo chamado de Diesel de referência, onde a mistura B15 teve a menor diferença de torque comparado ao fabricante (6,04% menor), enquanto a mistura B100 teve a maior diferença (19,41% menor que o do fabricante). A Figura 5.8 faz a comparação com a mistura B7, onde a mistura B15 conseguiu uma performance superior (2,6% maior que o B7), e a mistura B100 com a pior performance (11,6% abaixo do torque obtido com a mistura B7), confirmando os dados apresentados da literatura (MCT, 2009 ; BARBOSA, 2008).

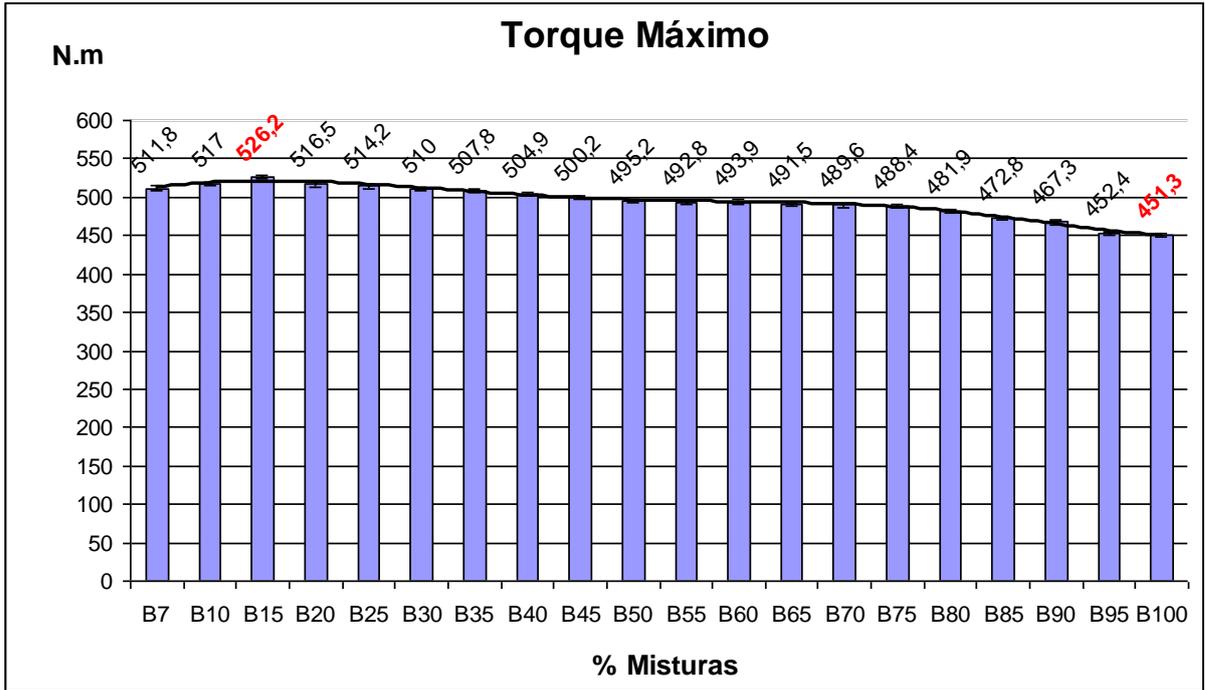


Figura 5.6. Torque máximo do motor a plena carga em 2000 rpm em função das misturas.

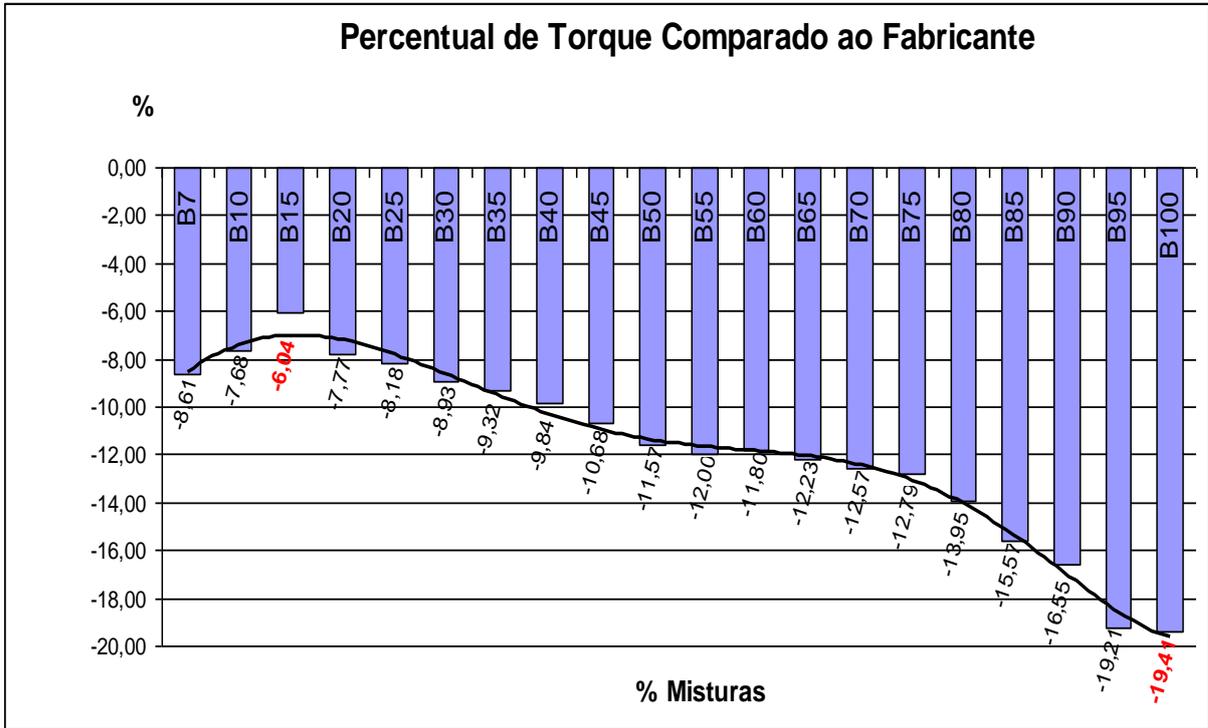


Figura 5.7. Comparação percentual de torque máximo do motor a plena carga a 2000 rpm em relação aos dados do fabricante.

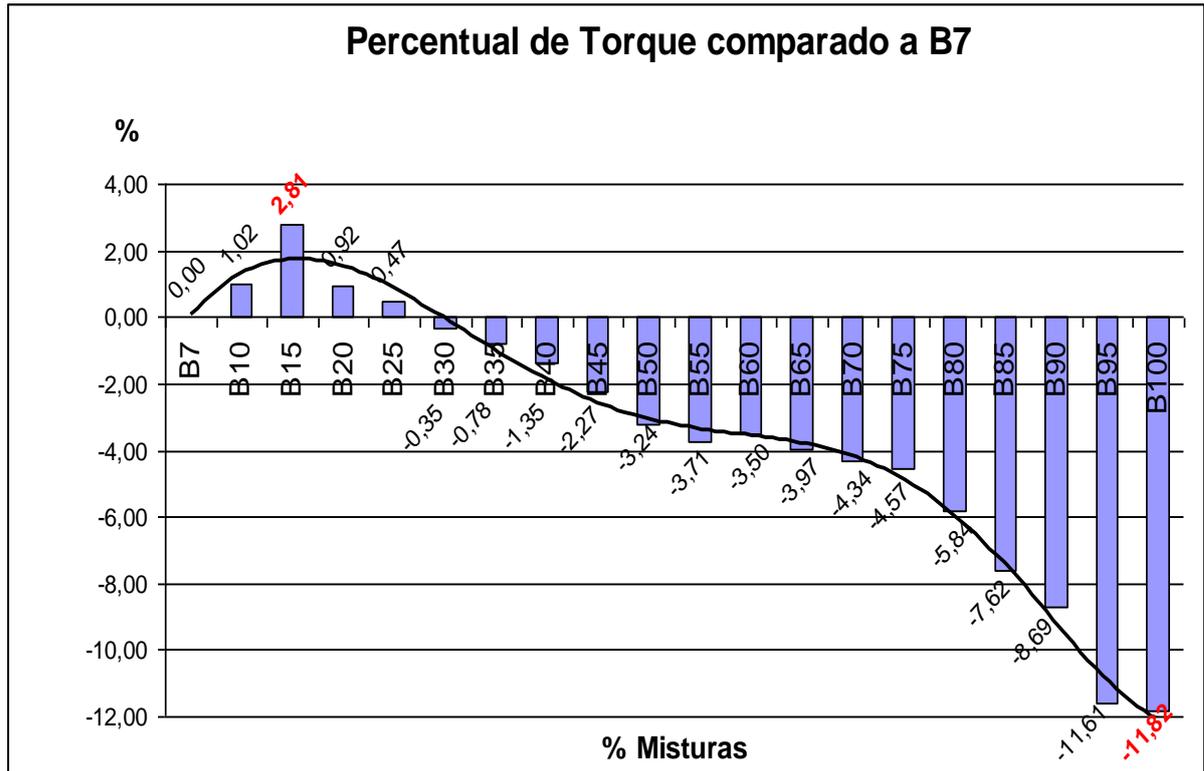


Figura 5.8. Comparação percentual de torque máximo do motor a plena carga a 2000 rpm em relação aos dados do combustível padrão (B7).

## 5.5 Análise da Potência

A potência máxima segue a tendência do torque máximo, uma vez que a mesma é criada a partir das medições do mesmo. As medições para comparação da potência máxima foram realizadas também a plena carga e a rotação de aproximadamente 2600 rotações por minuto, conforme os parâmetros do fabricante, apresentando o comportamento mostrado na Figura 5.9. É analisada neste gráfico a variação de potência máxima entre B7 e B100.

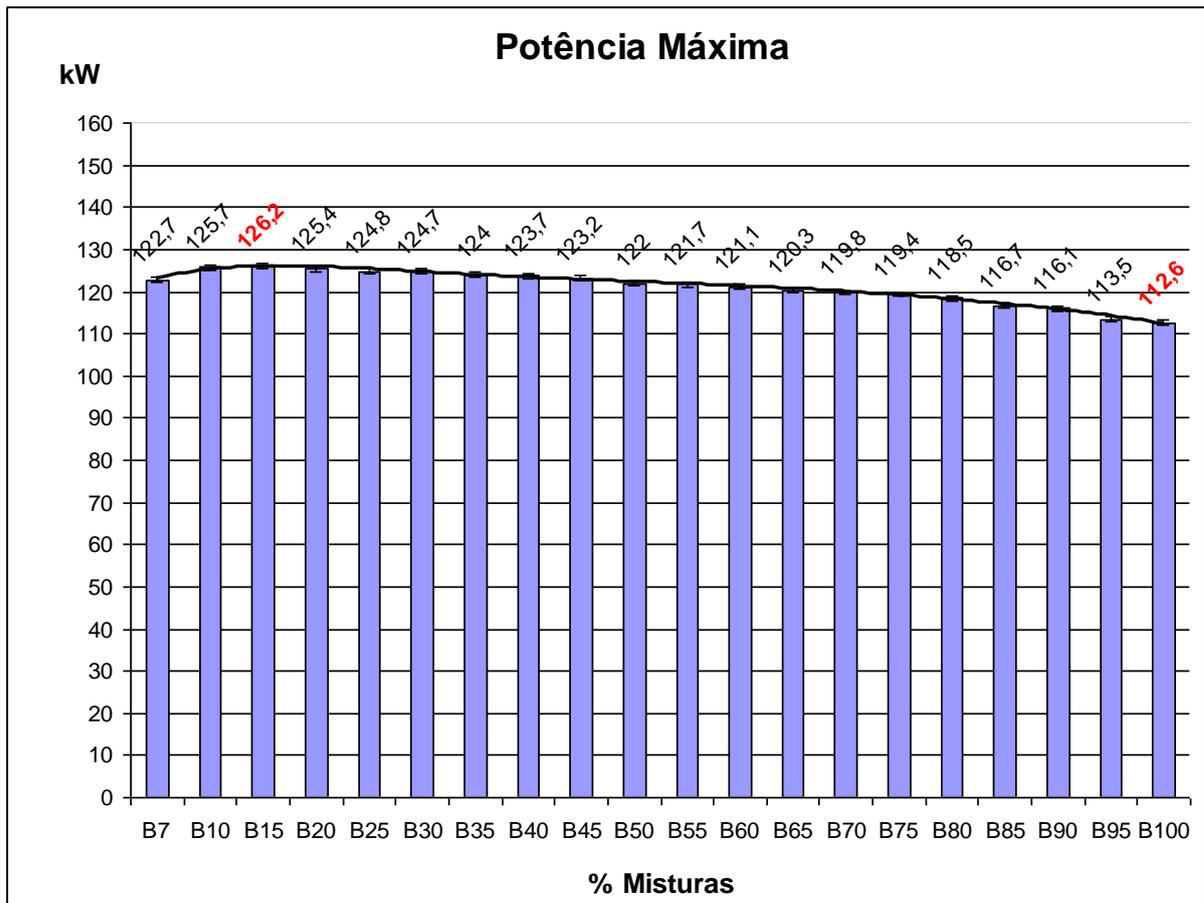


Figura 5.9. Potência máxima do motor a plena carga em 2600 rpm em função das misturas.

Observa-se que ao aumentar o percentual de Biodiesel, nas misturas entre 10 e 20%, a potência cresce na mistura B15 em comparação a mistura B7, porém para a mistura B100, ocorre diminuição. Essas flutuações de potência são explicadas pela literatura. O aumento de potência para as misturas entre B10 e B20, pode ser justificado pelo fato de a molécula do Biodiesel possuir oxigênio na sua composição química, o que melhora a queima durante a combustão, já que existe maior disponibilidade deste elemento químico para o processo de oxidação dentro da câmara de combustão do motor (SERRANO *et al.* (2012)). A mistura B100 que teve a maior diferença de potência pode ser justificada como sugerido por MARTINS (2006), TZIOURTZIOUMIS (2009; 2012); GITTE (2013), SILVA (2013), entre outros. Levando-se em conta a vantagem de possuir mais oxigênio e a desvantagem de possuir um menor poder calorífico inferior, podemos concluir que a mistura B15 é a mais acertada para esta configuração de motor – injeção eletrônica durante os testes.

A Figura 5.10 faz comparação com o percentual de potência com o fabricante, similar a comparação do torque máximo, onde a mistura B15 teve a menor perda (15,42% menor que o do fabricante) e a mistura B100 teve a maior perda (24,53% menor que o do fabricante).

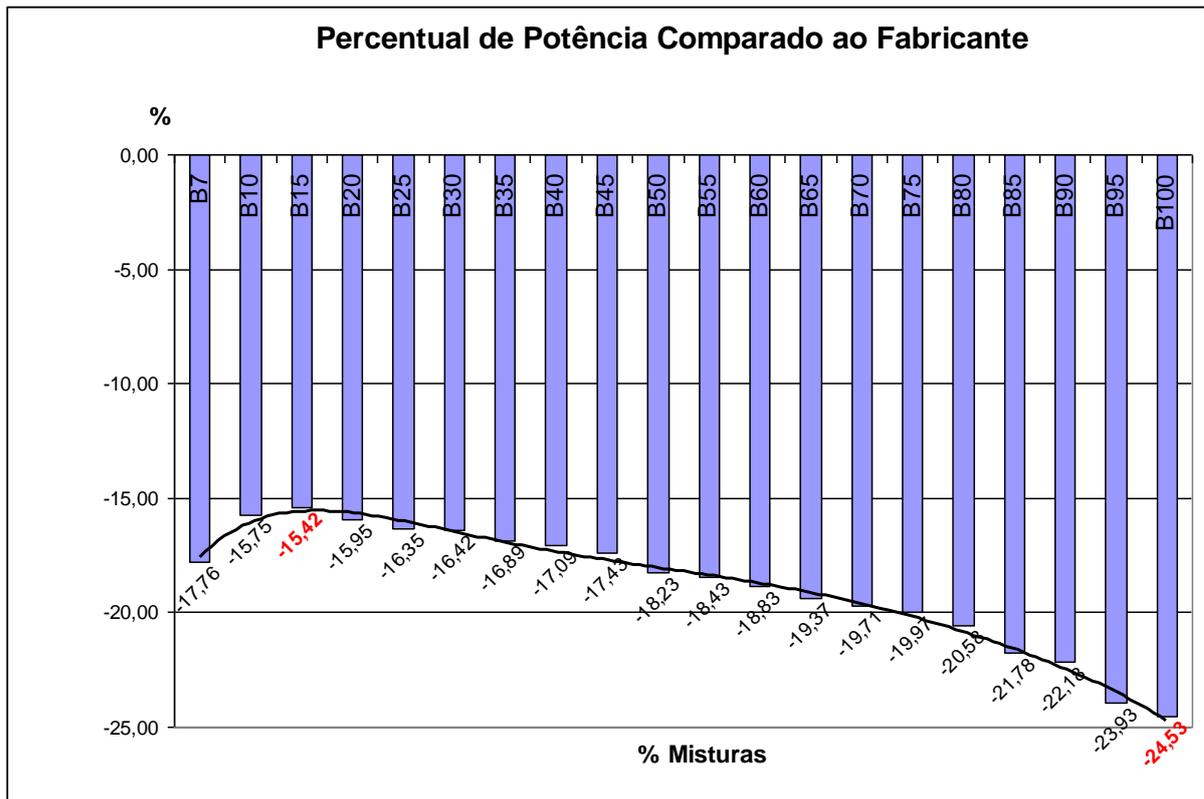


Figura 5.10. Comparação percentual de potência máxima do motor a plena carga em 2600 rpm em relação aos dados do fabricante.

A Figura 5.11, por sua vez, faz comparação com a mistura B7, onde a mistura B15 conseguiu uma performance superior (2,85% maior que o B7) e a mistura B100 obteve a pior performance (8,23% abaixo do torque obtido com a mistura B7).

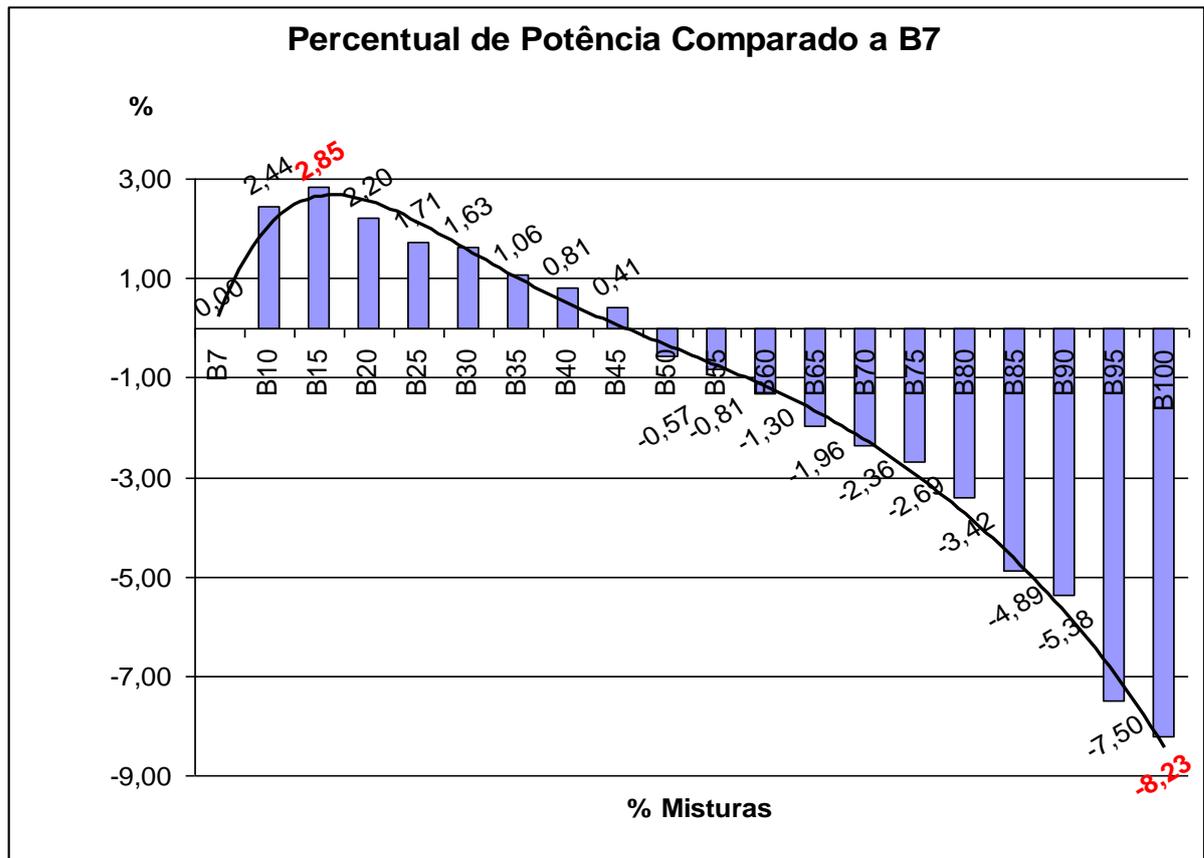


Figura 5.11. Comparação percentual de potência máxima do motor a plena carga em 2600 rpm em relação aos dados do combustível padrão (B7).

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, as seguintes conclusões foram obtidas:

A adição do Biodiesel durante as misturas iniciais (entre B10 e B20), aumentou a performance global do motor, diminuindo o consumo específico e aumentando torque e potência do motor, onde a mistura com a melhor configuração para os testes estava situada entre B15 e B20, conferindo o comportamento apresentado por Serrano et al (2013);

A mistura B100 obteve a pior performance durante os testes, com maior consumo específico, maior queda de torque e maior perda de potência em comparação com as outras misturas, devido ao seu baixo poder calorífico inferior, conforme Martins (2006), entre outros;

As comparações de consumo específico entre B7 e B100, variando-se a rotação do motor, sempre a plena carga, mostraram que as diferenças de consumo entre B7 e B100 chegaram próximas as encontradas por Mct (2009) e Silva (2013), indicando coerência e demonstrando que existe um padrão para o consumo específico das misturas.

O comportamento das curvas de torque e potência é similar, ocorrendo um aumento dos mesmos em torno de 3% para misturas com pouca adição de Biodiesel, entre 10 e 20%, e para misturas acima de 20%, houve uma diminuição gradativa até 100% de Biodiesel, havendo variações em torno de 11,82% no torque e 8,2% na potência comparados ao óleo de referência (B7).

## 7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar os parâmetros para toda norma ESC, desenvolvendo os 13 pontos para cada mistura;
- Realizar análise de gases provenientes da combustão utilizando as mesmas misturas de Biodiesel;
- Efetuar a desmontagem das partes móveis do motor (Pistão, Biela e Virabrequim) para averiguação e análise de desgaste, principalmente da vedação através da análise dos anéis de segmento;
- Avaliar a contaminação do óleo lubrificante com a utilização do biodiesel, estipulando o número de horas de teste para análise;
- Relacionar o desgaste e a lubricidade das guias de válvula do motor utilizando as misturas de biodiesel;
- Confrontar parâmetros do Biodiesel industrializado com outras fontes ;
- Realizar teste de longa duração, analisando principalmente os percentuais de até 30% em volume de Biodiesel, verificando desgaste e emissões de poluentes.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14065:2013. **Destilados de Petróleo e Óleos Viscosos — Determinação da Massa Específica e da Densidade Relativa pelo Densímetro Digital**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/ISO 1585. **Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva** .1996.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (Brasil). **Resolução ANP 65/2011**. 2011. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 03/04/2016;

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (Brasil). **Boletim Mensal de Biodiesel**, 2013. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 03/04/2016;

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (Brasil). **Resolução ANP 50/2013**. 2013. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 03/04/2016;

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (Brasil). **Resolução ANP 45/2014**. 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 05/04/2016;

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo,Gás Natural e Biocombustíveis**. 2015. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: 21/04/2016;

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de Biodiesel**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, set./out., 2008.

BETTES, H.; HANCOCK, B. **Dyno testing and tuning**. North Branch: CarTech, 2008.

BETTES, H. **A Quick View of Chassis Dynamometer Testing**. Engine Professional. Vol. Apr-Jun, p.34–9, 2010.

BIODIESELBR. **Revista Referência Mundial Sobre Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.Biodieselbr.com/index>>. Acesso em: 22/04/2016;

BOSCH, R. **Test Bench for Function and Power Analysis – FLA 203**. Manual do Usuário, Alemanha, 2001.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva. 25ª ed.** São Paulo: E. Blucher. 2005. 1232p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portaria MCT nº 702, de 30 de outubro de 2002**. Institui o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel - PROBIODIESEL, com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico de Biodiesel, a partir de ésteres etílicos de óleos vegetais puros e/ou residuais. Disponível em: < <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/122459.pdf>>. Acesso em: 21/05/2016.

BRASIL. **Lei nº. 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do Biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)>. Acesso em: 21/04/2016;

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação-Brasília. **Testes e ensaios para validação do uso da mistura Biodiesel B5 em motores e veículos**. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.

BRASIL. **Lei nº. 13.033, de 24 de Setembro de 2014**. Dispõe sobre a adição obrigatória de Biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm)>. Acesso em: 21/04/2016;

BRASIL. **Lei nº. 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de Biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm#art1](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm#art1)>. Acesso em: 21/04/2016;

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis – Julho 2016**. Brasília, Edição Nº101, 26 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de-combustiveis-renovaveis>>. Acesso em: 21/09/2016.

BU. BERKELEY UNIVERSITY. **Water Brake Dyno**. Disponível em:<[http://courses.me.berkeley.edu/ME102B/Past\\_Proj/f03/Proj11/Dscn0015.jpg](http://courses.me.berkeley.edu/ME102B/Past_Proj/f03/Proj11/Dscn0015.jpg)>. Acesso em :25/04/2016.

CM.CHINA MAGNETS. **Eddy Current Permanent Magnet**. Disponível em: <<http://china-magnets-source-material.com/en/proshow/Eddy-Current-Brake-magnet.html>>. Acesso em 03/05/2016.

CONSOLIDAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT Do Transporte – Principais dados**, 2016. Disponível em: <http://www.http://anuariodotransporte.cnt.org.br/>. Acesso em 03/05/2016.

COVENTRYSYSCALE. **Tension Load Cells**. Disponível em:<<http://www.coventryscale.co.uk/product-category/scale-type/load-cells/tension-load-cells/>>. Acesso em :25/04/2016.

EIT. ENGINEERING INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF AUSTRALIA . **A Few (Brief) Examples Of Virtual Labs**. Disponível em:< <http://www.eit.edu.au/virtual-laboratories>>. Acesso em: 22/05/2016.

ESC. **European Stationary Cycle**. Disponível em: <<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.php>>. Acesso em: 22/05/2015.

FORD. **Manual de Serviços Ford F-250**. 2006.

GITTE, B.M.; SIRAJ, SAYYED; DHARMADHIKARI, H.M. Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Biodiesel and its Blend: A review. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**. Vol.2, p.3235-3243, 2013.

GOMÉZ, LUIS ALBERTO. **Instrumentação De Ensaio**. Apostila para pós graduação, LABEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008, 10p.

GRANTE. Grupo de Análise e Projeto Mecânico. **Extensometria**. Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004, 48p.

HOW, H.G., MASJUKI, H.H. , KALAM, M.A. ; TEOH, Y.H. An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut Biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine. **Energy**. Vol. 69, p.749–759, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Mapeamento tecnológico do Biodiesel e tecnologias correlatas sob o enfoque dos pedidos de Patentes**, 2008. Disponível em:<<http://www.Inpi.gov.br>>. Acesso em :22/04/2016.

KHALID, AMIR ; JAAT, M., MUSTAFFA, NORRIZAL; ANUAR, M.D; MANSHOOR; B., ALI , M.F.M. ; NGALI, ZAMANI. Effects of Biodiesel on Performance and Emissions Characteristics in Diesel Engine. **Applied Mechanics and Materials**, Vol 663, p. 39-43, 2014.

LEUNG,D.Y.C. **Feasability Study of Using Biodiesel as Motor Fuel in Hong Kong**. Final Report. Environmental Protection Department , University of Hong Kong, 68p. 2003

LIMA, Maurício. **Pesquisa ILOS de Custos de Transporte**. Rio de Janeiro: ILOS, 2013.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Publindústria, Porto, Portugal, 2006.

MARTYR, A.J.; PLINT, M. A. ; **Engine Testing Theory and Practice**, 3º edição. Butterworth Heinemann, USA. 2007.

MENEGHETTI, P. **A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel** – Rev. Virtual Quim. 2013, 5 (1), 63-73 – 2013;

MUÑOZ, M.R.; GÓMEZ, F.M.; ROY, J.F. M. **Motores alternativos de combustión interna**. 2 ed, Presas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, España, 2008.

MURILLO S, MIGUEZ JL, PORTEIRO J, GRANADA E, MORAN JC. **Performance and exhaust emissions in the use of Biodiesel in outboard diesel engines**. Fuel, 2007.

MUTLAQ, SARAH AL. **Tutorial: Getting Started Load Cell**. Disponível em:<[learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells](http://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells)>. Acesso em: 21/04/2016.

NAPRO. **Manual de Instruções**, NAPRO PRO 8500. 2016;

NIETIEDT, G. H.; **Misturas de Biodiesel de Soja, com Aditivação e Variação do Ponto de Avanço, em um Motor de Injeção Direta**. 91p. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

OSAKI, M.; BATALHA, M. O. Produção de Biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. In: **Congresso Da Sociedade Brasileira De Economia E Sociologia Rural**, 2008, Rio Branco. Anais...Rio Branco: SOBER, 2008. Disponível em: <[www.sober.org.br/palestra/9/171.pdf](http://www.sober.org.br/palestra/9/171.pdf)>. Acesso em: 23/03/2016.

PARENTE, E. J. S. **BIODIESEL: Uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza, Ceará, 2003. Disponível em: <<http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2008/01430.pdf>>. Acessado em: 21/04/2016.

PEREIRA, JOSÉ CLÁUDIO. **Motores E Geradores**. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/energia/dinos1.html>> . Acesso em: 25/04/2016.

SARTORIUS. **Manual de Instruções**, SARTORIUS PMA7500. 2016;

SILVA, FRANCISCO DAVID DE LIMA E . **Avaliação Do Desempenho, Desgaste E Emissões De Motores Diesel Operando Com Biodiesel Puro (B100)**. 2013. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, PR.

SERRANO, L. M. V.; CÂMARA, R. M. O.; CARREIRA, V. J. R.; SILVA, M. C. G. da. **Performance study about Biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data**. *Energy Conversion and Management*. Vol. 60, p.2–9, 2012.

SODRÉ, J. R.; SOARES, S. M. C. **Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions**. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. Vol. XXV, p.279–285, 2003.

SONIRODBAN. **D4D Engine of Toyota**. Disponível em : <<http://www.sonirodban.com/d4d-engine.html>>. Acesso em 25/04/2016.

SOUSA, R.D; **Balança de curie e correntes de foucault- Instrumentação para ensino** , Unicamp, 2005.

SUAREZ, P.A.Z.; ABREU, F.R. O Biodiesel no Brasil. **Senatus**, Brasília, v. 4, p. 49-52, 2005. Disponível em: <<http://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/507846>>. Acesso em 21/04/2016.

SUAREZ, P.A.Z.; MENEGHETTI,S.M.P. **70º aniversário do Biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil**, Química Nova, v. 30, p. 2068-2071, 2007. Disponível em: <[http://www.quimicanova.sbq.org.br/detalhe\\_artigo.asp?id=1987](http://www.quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1987)>. Acesso em 21/04/2016.

WANG, W.G.; LYONS, D.W.; CLARK, N.N.; GAUTAM, M.; NORTON, P.M. Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and Biodiesel blend without engine modification. **Environmental Science Technology**, v. 34, p. 933-939, 2000.

WEST VIRGINIA UNIVERSITY, **Demonstration of Caterpillar C-10 Dual-Fuel Engines in MCI 102DL3 Commuter Buses**, Santa Barbara County Air Pollution Control District Goleta, Califórnia, Estados Unidos, 2001.

VOLKSWAGEN CAMINHÕES. **Literatura Técnica Volkswagen - Motor MWM 4.10TCA**. 2010.

WAGNER, EUGENE P. ; LAMBERT, PATRICK D.; MOYLE, TODD M.; KOEHLE, MAURA A. Diesel vehicle performance on unaltered waste soybean oil blended with petroleum fuels. **Fuel**. Vol. 107, p.757–765, 2013.

TORRES, FELIPE ANDRADE; TORRES, EDNILDO ANDRADE. Análise do desempenho de dois veículos utilitários operando com Diesel e Biodiesel em diferentes concentrações. In. **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (ABCM)**, 2010. Anais... Campina Grande, ABCM, 2010.

TZIOURTZIOUMIS, DIMITRIS; DEMETRIADES, LOUCAS; ZOGOU, OLYMPIA, STAMATELOS, AM. Experimental investigation of the effect of a B70 Biodiesel blend on a common-Rail passenger car Diesel engine. **Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**. Vol.223, p.685-701.2009.

TZIOURTZIOUMIS, DIMITRIS; STAMATELOS, An. Effects of a 70% Biodiesel blend on the fuel injection system operation during steady-state and transient performance of a common rail diesel engine. **Energy Conversion and Management**. Vol.60, p.56-67.2012.

UNIVERSITY OF STRATHCLYDE. **Biodiesel: Barriers, Potentials and impacts**. Disponível em: <[http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/06-07/Biodiesel/Biodiesel.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/Biodiesel.htm)> Acesso em: 21/04/2016.

# APÊNDICE A

## CARACTERÍSTICAS DO DIESEL, CONFORME ANP 65 (2011)

Característica (1)	Unidade	Limite Tipo A e B				Método	
		S10	S50 (2)	S500	S1800 (3)	ABNT NBR	ASTM/EN
Aspecto	-	Limpido e isento de impurezas				14954	D4716
Cor	-	(4)		(5) (6)			
Cor ASTM, máx.	-	3,0 (7)				14483	D1500 e D6045
Teor de biodiesel (8)	% volume	(9)				15568	EN 14078
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	50	-	-	-	D2622, D5453 D7039, D7212 (10) D7220 (10)
Massa específica a 20°C	kg/m³	820 a 850 (11)		820 a 865	820 a 880	7148 e 14065	D1298 e D4052
Ponto de fulgor, mín.	°C	38				7974, 14598	D56, D93, D3828
Viscosidade a 40°C	mm²/s	2,0 a 4,5	2,0 a 5,0			10441	D445
Destilação							
10% vol., recuperados	°C	180,0 (mín.)	Anotar		9619	D86	
50% vol., recuperados		245,0 a 295,0	245,0 a 310,0				
85% vol., recuperados, máx.		-	-	360			370
90% vol., recuperados		-	360,0 (máx.)	Anotar			Anotar
95% vol., recuperados, máx.		370	-				
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(12)				14747	D6371
Número de cetano ou número de cetano derivado (NCD), mín.	-	48	46	42 (13)		-	D613 D6890 e D7170
Resíduo de carbono Ramsbottom no resíduo dos 10% finais da destilação, máx.	% massa	0,25				14318	D524
Cinzas, máx.	% massa	0,01				9842	D482
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.	-	1				14359	D130
Água (14)	mg/kg	200 (máx.)	Anotar	-	-	-	D6304 EN ISO 12937
Contaminação total (14)	mg/kg	24 (máx.)	Anotar	-	-	-	EN 12662
Água e sedimentos, máx. (15)	% volume	0,05				-	D2709
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (16)	% massa	11 (máx.)	Anotar	-	-	-	D5186 e D6591 (17) EN 12916 (17)
Estabilidade à oxidação (16)	mg/100mL	2,5 (máx.)	Anotar	-	-	-	D2274 (18) e D5304
Índice de neutralização	mg KOH/g	Anotar		-	-	14248	D974
Lubridade, máx.	µm	(19)			-	-	D 6079 ISO 12156
Condutividade elétrica, mín (20)	pS/m	25	-	-	-	-	D2624 e D4308

(1) Poderão ser incluídas nesta especificação outras características, com seus respectivos limites, para o óleo diesel obtido de processos diversos de refino de petróleo e centrais de matérias-primas petroquímicas ou nos termos a que se refere o § 1º do art. 1º desta Resolução.

(2) A partir de 1º de janeiro de 2013, os óleos diesel A S50 e B S50 deixarão de ser comercializados e serão substituídos integralmente pelos óleos diesel A S10 e B S10, respectivamente.

(3) A partir de 1º de janeiro de 2014, os óleos diesel A S1800 e B S1800 deixarão de ser comercializados como óleos diesel de uso rodoviário.

(4) Coloração entre o incolor e o amarelado, podendo o tipo B apresentar-se ligeiramente alterado para as tonalidades marrom e alaranjada.

(5) Conforme disposto no art. 11, da presente Resolução, deverão ser observados os seguintes limites:

a) até 30 de junho de 2012, os indicados na nota (4) para o óleo diesel S500 e "vermelho" para o óleo diesel S1800;

b) a partir de 1º de julho de 2012, "vermelho" para o óleo diesel S500 e, de amarelo a alaranjado, podendo o tipo B apresentar-se ligeiramente alterado para a tonalidade marrom, para o óleo diesel S1800.

(Nota)

(6) O corante vermelho deve ser adicionado de forma tal que seu teor na mistura seja de 20 mg/L.

(7) Limite requerido antes da adição do corante.

(8) Aplicável apenas para o óleo diesel B.

(9) No percentual estabelecido pela legislação vigente. Será admitida variação de  $\pm 0,5$  % volume.

(10) Aplicáveis apenas para óleo diesel A.

(11) Será admitida a faixa de 820 a 853 kg/m³ para o óleo diesel B.

(12) Limites conforme Tabela II.

(13) Alternativamente, fica permitida a determinação do índice de cetano calculado pelo método NBR 14759 (ASTM D4737), para os óleos diesel A S500 e A S1800, quando o produto não contiver aditivo melhorador de cetano, com limite mínimo de 45. No caso de não-conformidade, o ensaio de número de cetano deverá ser realizado. O produtor e o importador deverão informar no Certificado de Qualidade a presença de aditivo melhorador de cetano, nos casos em que tal aditivo for utilizado. Ressalta-se que o índice de cetano não traduz a qualidade de ignição do óleo diesel contendo biodiesel e/ou aditivo melhorador de cetano.

(14) Aplicável na produção e na importação.

(15) Aplicável na importação, antes da liberação do produto para comercialização.

(16) Os resultados da estabilidade à oxidação e dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos poderão ser encaminhados ao distribuidor até 48 h após a comercialização do produto de modo a garantir o fluxo adequado do abastecimento.

(17) O método EN 12916 é aplicável ao óleo diesel B contendo até 5% de biodiesel. Os métodos ASTM D5186 e D6591 não se aplicam ao óleo diesel B.

(18) O método ASTM D2274 se aplica apenas ao óleo diesel A.

(19) Poderá ser determinada pelos métodos ISO 12156 ou ASTM D6079, sendo aplicáveis os limites de 460 µm e 520 µm, respectivamente. A medição da lubridade poderá ser realizada após a adição do biodiesel, no teor estabelecido na legislação vigente.

(20) Limite requerido no momento e na temperatura do carregamento/bombagem do combustível pelo produtor e distribuidor.

Tabela II - Ponto de Entupimento de Filtro a Frio

Unidades da Federação	Limite Máximo, °C											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
SP - MG - MS	12	12	12	7	3	3	3	3	7	9	9	12
GO/DF - MT - ES - RJ	12	12	12	10	5	5	5	8	8	10	12	12
PR - SC - RS	10	10	7	7	0	0	0	0	0	7	7	10

## APÊNDICE B

### CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA DE BIODIESEL UTILIZADO

Característica		Unidade	Resultado	Especificações	Métodos
Aspecto/Temperatura	21,9 °C	-	LII	LII	Visual
Massa Específica a 20 °C		kg/m <sup>3</sup>	878,2	850-900	NBR 7148:2013
Viscosidade Cinemática a 40 °C		mm <sup>2</sup> /s	4,3	3,0-6,0	NBR 10441:2014
Teor de água (Procedimento A)		mg/kg	146,7	200,0 (máx.)	ASTM D6304-07
Contaminação Total		mg/kg	21	24 (máx.)	EN 12662:2008
Ponto de Fulgor (Procedimento C)		°C	172,0	100,0 (mín.)	NBR 14598:2012
Teor de éster		% massa	97,2	96,5 (mín.)	EN 14103:2015
Cinzas Sulfatadas		% massa	##	0,020 (máx.)	NBR 6294:2008
Enxofre total		mg/kg	6,7	10 (máx.)	ASTM D5453-12
Sódio + Potássio		mg/kg	2,5	5 (máx.)	NBR 15553:2015
Cálcio + Magnésio		mg/kg	0,23	5 (máx.)	NBR 15553:2015
Fósforo		mg/kg	3,3	10 (máx.)	NBR 15553:2015
Corrosão ao Cobre, 3h a 50 °C		-	##	1 (máx.)	NBR 14359:2013
Ponto de entupimento de filtro a frio(*)		°C	2	3 (máx.)	NBR 14747:2008
Índice de acidez (Método B)		mgKOH/g	0,48	0,50 (máx.)	ASTM D664-11a
Glicerol livre		%massa	0,02	0,02 (máx.)	ASTM D6584-13
Glicerol total		%massa	0,18	0,25 (máx.)	ASTM D6584-13
Metanol ou Etanol		%massa	-	0,20 (máx.)	EN 14110:2003
Estabilidade à oxidação a 110°C		h	10	8 (mín.)	EN 14112:2003
Monoacilglicerol		%massa	0,6	0,7 (máx.)	ASTM D 6584-13
Diacilglicerol		%massa	0,10	0,20 (máx.)	ASTM D 6584-13
Triacilglicerol		%massa	0,004	0,20 (máx.)	ASTM D 6584-13
Índice de Iodo		g/100g	111	ANOTAR	EN 14111:2003

Especificações de acordo com a Resolução ANP N.º 45 de 25.08.2014 – DOU 26.08.2014. Regulamento Técnico ANP n.º 03/2014.

OBS: (L.II) límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.

(\*) Resultado de acordo com contratos referentes aos leilões bimestrais.

(##) Ensaio trimestrais.

Nota 1: A amostragem é de total responsabilidade do cliente.

Nota 2: Os resultados apresentados fazem referência apenas às amostras ensaiadas.

Nota 3: Sua reprodução deve ser completa, do contrário, somente com aprovação escrita do laboratório.

Francine Carvalho Mello

Técnico Químico – CRQ 05408362  
Laboratório de Controle de Qualidade Oleoplan Cadastro n° 048 - CRQ 2304

OLEOPLAN S.A. ÓLEOS VEGETAIS PLANALTO  
RST 470 – km 109 – Nº. 3482 – CEP: 95330 – 000 – VERANÓPOLIS – RS  
FONE: (54) 3441 3300 – FAX: (54) 3441 3300  
E-mail: laboratorio\_biodiesel@oleoplanver.com.br, atendimento@oleoplanver.com.br  
Site: www.oleoplanver.com.br