

## 4 Metodologia

Os experimentos foram divididos em duas etapas e realizados ao nível do mar (22° 58' 42,8" S 43° 14' 0,1" W), nas instalações do Laboratório de Engenharia Veicular (LEV) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

A primeira etapa teve por objetivo obter os dados de desempenho dos motores original e modificado operando com apenas com diesel e mapear o funcionamento dos injetores de diesel e de etanol baseado nos parâmetros de pressão e tempo de injeção.

A segunda etapa teve por objetivo obter os dados do motor modificado funcionando com dois combustíveis simultaneamente (diesel e etanol) e diferentes estratégias de injeção.

Alguns procedimentos foram adotados para padronizar os testes: a partida do motor foi realizada utilizando o motor elétrico do dinamômetro; a captação dos dados foi iniciada três minutos após a partida do motor; e cada experimento teve duração de 5 minutos.

O sistema de aquisição registrou os seguintes dados:

- Rotação do motor (RPM)
- Torque (N.m)
- Vazão mássica de combustível (kg/h)
- Vazão volumétrica de ar úmido (kg/h)
- Temperatura de ambiente (°C)
- Temperatura de ar no canal de admissão do motor (°C)
- Temperatura do óleo lubrificante (°C)
- Temperatura dos gases de escapamento (°C)
- Temperatura da água de refrigeração (°C)
- Pressão de admissão (bar)
- Pressão na câmara de combustão do motor (bar)
- Pressão de injeção-etanol (bar)

- Pressão de injeção-diesel (bar)
- Temperatura Ambiente (°C)
- Posição do Ângulo [°]
- Umidade Absoluta [-]

Os parâmetros obtidos por meio do software LabView® foram:

- Potência efetiva (kW)
- Vazão de mássica de ar seco: [kg/h]
- Temperaturas em pontos estratégicos da bancada (T): [°C]
- Fator Lambda [-]
- Consumo Específico de Combustível [g/kWh].
- Rendimento Térmico [%]
- Taxa de Substituição [%]

#### **4.1. Primeira Etapa dos Experimentos**

As ações que estruturaram a primeira etapa dos experimentos estão descritas abaixo:

- Teste 0: Determinação dos parâmetros de funcionamento do motor original para captar as curvas de torque, de potência, de rendimento e de consumo específico.
- Mapeamento dos injetores de diesel e de etanol para estabelecer a quantidade de combustível injetada, considerando o tempo de duração da injeção, a pressão de injeção e a rotação do motor.
- Teste D: Mapeamento do motor modificado, operando apenas com óleo diesel.

#### 4.1.1

### Determinação dos Parâmetros de Funcionamento do Motor Original YANMAR NSB50 – Teste 0

O levantamento das características técnicas do motor original, operando em diversas situações de carga e de rotação, foi realizado para criar uma base de dados comparativos entre o motor original e o motor modificado. Além disso, os resultados serviram para conferir se os dos testes do motor original estavam na mesma ordem de grandeza dos valores divulgados no catálogo da fabricante do motor.

A Tabela 4.1 mostra os parâmetros empregados na composição do Teste 0. Os resultados dos experimentos, como torque, potência, consumo específico e rendimento estão descritos no capítulo 8.

Tabela 4.1: Mapeamento do Motor Original

ROTAÇÃO (RPM)	CARGA (%)	TORQUE (N.m)	POTÊNCIA (kW)	CEC <sub>D</sub> (kg/kWh)	RENDIMENTO (%)
1600/1800/2000	100/75/50/25				
RESULTADOS					

#### 4.1.2

### Mapeamento dos injetores (Diesel e Etanol)

Com os injetores desconectados do cabeçote do motor foram efetuadas várias injeções variando o tempo e a pressão de injeção. Este procedimento tinha por objetivo quantificar a massa de combustível liberada por cada injetor e construir um mapa de injeção para auxiliar na execução dos testes com motor operando com tecnologia RCCI.

A quantidade de massa injetada foi contabilizada pelo medidor de vazão Corioli CFM010 Micromotion e conferida com a balança Sartorius PMA7501. As Figuras 4.1 e 4.2 mostram as telas do programa computacional responsável por controlar parâmetros de entrada (pressão / tempo de injeção) que foram utilizados no mapeamento dos injetores.

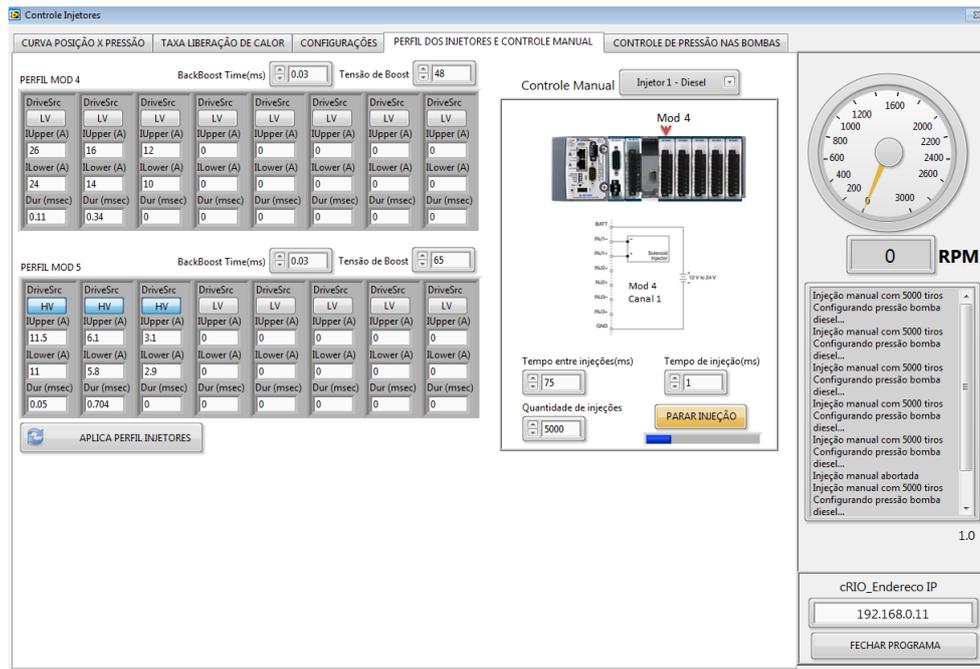


Figura 4.1: Tela de controle do perfil dos injetores de diesel e de etanol.

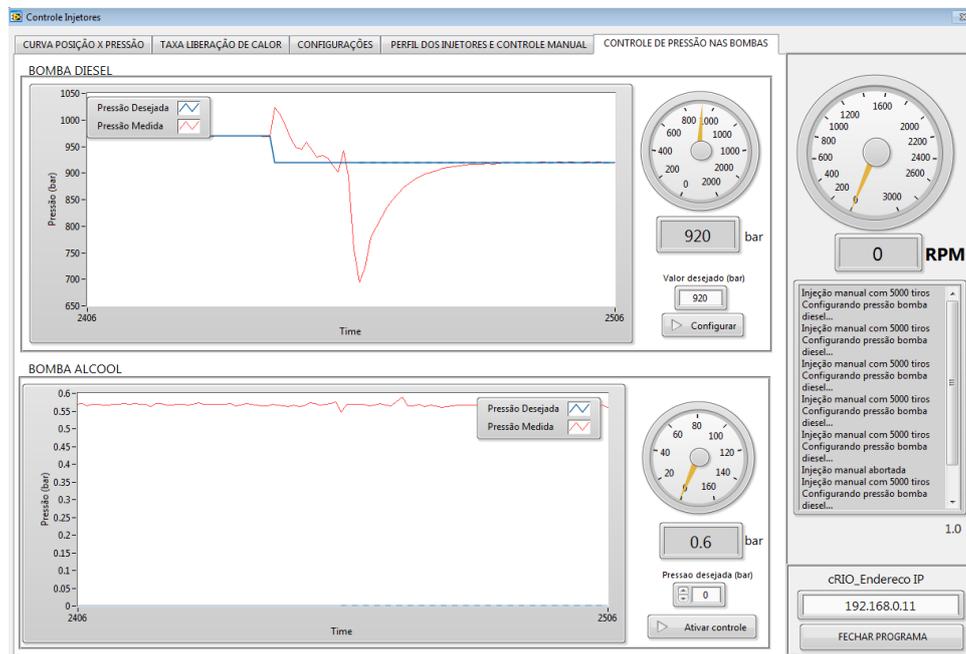


Figura 4.2: Tela de controle de pressão nas bombas de alta pressão dos sistemas de injeção de diesel e de etanol.

### 4.1.3 Mapeamento do Motor Modificado – Teste D

Neste procedimento foram realizados três testes (D1, D2 e D3) com o motor funcionando somente com diesel a 1600 rpm, variando três parâmetros: a pressão no injetor, a duração da injeção e o ponto da injeção de combustível.

Os experimentos do Teste D foram serviram para conferir se, operando nas mesmas condições, o motor modificado apresentaria resultados semelhantes ao do motor original.

#### 4.1.3.1 Teste D1

Foram realizados 4 experimentos com uma injeção de combustível no mesmo ponto em relação ao PMS. As condições de execução dos experimentos realizados no Teste D1 estão descritas abaixo:

- Combustível: diesel;
- Ponto de injeção: -8° PMS (D-8);
- Vazão: 1,01 kg/h, 0,73 kg/h, 0,41 kg/h e 0,25 kg/h.

A Tabela 4.2 mostra composição dos dados de entrada e dos resultados do mapeamento do motor modificado no Teste D1.

Tabela 4.2: Teste D1

EXPERIMENTO	VAZÃO DE DIESEL (kg/h)	TORQUE (N.m)	POTÊNCIA (kW)	ENERGIA TOTAL (kJ/h)	EFICIÊNCIA (%)
1 / 2 / 3 / 4	1,01 / 0,73 / 0,41 / 0,25				
RESULTADOS					

#### 4.1.3.2 Teste D2

Foram realizados 4 experimentos com uma injeção de combustível em vários pontos relativo ao PMS. As condições de execução dos experimentos realizados no Teste D2 estão descritas a seguir:

- Combustível: diesel;

- Pontos de injeção: -14° PMS (D-14), -8° PMS (D-8), -2° PMS (D-2) e +4° PMS (D+4);
- Vazão: 0,80kg/h.

Os experimentos do Teste D2 foram realizados para verificar qual ponto de injeção de diesel deveria ser utilizado no motor modificado a fim de alcançar a melhor eficiência.

A Tabela 4.3 mostra composição dos dados de entrada e dos resultados do mapeamento do motor modificado no Teste D2.

Tabela 4.3: Teste D2

ROTAÇÃO (RPM)	POSIÇÃO (°)	TORQUE (N.m)	POTÊNCIA (kW)	CEC <sub>D</sub> (kg/kWh)	EFICIÊNCIA (%)
1600	+4 / -2 / -8 / -14				
RESULTADOS					

#### 4.1.3.3 Teste D3

Foram realizados 4 experimentos com uma injeção de combustível em vários pontos relativo ao PMS. As condições de execução dos experimentos realizados no Teste D3 estão descritas abaixo:

- Combustível: diesel;
- Pontos de injeção: -14° PMS (D-14), -8° PMS (D-8), -2° PMS (D-2) e +4° PMS (D+4);
- Vazão: 2,61 kg/h.

A Tabela 4.4 mostra composição dos dados de entrada e dos resultados do mapeamento do motor modificado no Teste D2.

Tabela 4.4: Teste D3

ROTAÇÃO (RPM)	POSIÇÃO (°)	TORQUE (N.m)	POTÊNCIA (kW)	CEC <sub>D</sub> (kg/kWh)	EFICIÊNCIA (%)
1600	+4 / -2 / -8 / -14				
RESULTADOS					

Os experimentos do Teste D3 foram realizados para corroborar os resultados obtidos no Teste D2. Por isso, foram utilizados os mesmos dados de entrada utilizadas no Teste D2, exceto a vazão de diesel.

## 4.2. Segunda Etapa dos Experimentos

Nesta etapa foram realizados três testes compostos por vários experimentos. O motor modificado funcionou a 1600 rpm, com vazão de diesel fixa em 0,15 kg/h. E, para aumentar a energia empregada no motor modificado, foi adotado o seguinte critério: aumento da vazão de etanol, na combinação de vazões diesel (0,15 kg/h) / etanol (X kg/h). A seguir estão descritas as ações que estruturaram a segunda etapa de experimentos.

### 4.2.1 Teste DE: Motor Modificado Operando com Dupla Injeção (Diesel / Etanol)

Foram realizados 6 experimentos a 1600 rpm, com duas injeções de combustível: a primeira de diesel a  $-8^\circ$  PMS (D-8) e a segunda de etanol a  $+4^\circ$  PMS (E+4).

As condições de execução dos experimentos realizados no Teste DE estão descritas abaixo:

- Rotação: 1600 rpm;
- Temperatura ambiente:  $34,8^\circ\text{C}$ ;
- Umidade relativa do ar: 45,4%;
- Temperatura da água de arrefecimento: acima de  $90^\circ\text{C}$ ;
- Estratégia de injeção: dupla injeção de combustível;

#### 1ª Injeção

- Combustível: diesel;
- Ponto de injeção:  $-8^\circ$  PMS (D-8);
- Vazão: 0,15 kg/h;

#### 2ª Injeção

- Combustível: etanol;
- Ponto de injeção:  $+4^\circ$  PMS (E+4);
- Vazões: 0,10 kg/h, 0,14 kg/h, 0,25 kg/h, 0,37 kg/h, 0,43

kg/h e 0,60 kg/h;

#### 4.2.2

##### **Teste ED: Motor Modificado Operando com Dupla Injeção (Etanol / Diesel)**

Foram realizados 4 experimentos a 1600 rpm, com duas injeções de combustível: a primeira de etanol a -170° PMS (E-170) e a segunda de diesel a -8° PMS (D-8).

As condições de execução dos experimentos realizados no Teste DE estão descritas abaixo:

- Estratégia de injeção: dupla injeção de combustível;

##### 1ª Injeção

- Combustível: etanol;
- Ponto de injeção: -170° PMS (E-170);
- Vazões: 0,10 kg/h, 0,25 kg/h, 0,43 kg/h, e 0,53 kg/h;

##### 2ª Injeção

- Combustível: diesel;
- Ponto de injeção: -8° PMS (D-8);
- Vazão: 0,15 kg/h;

#### 4.2.3

##### **Teste EDE: Motor Modificado Operando com Tripla Injeção (Etanol / Diesel / Etanol)**

Foram realizados 5 experimentos a 1600 rpm, com três injeções de combustível: a primeira de etanol a -170° PMS (E-170) e a segunda de diesel a -8° PMS (D-8) e a terceira de etanol a +4° PMS (E+4).

As condições de execução dos experimentos realizados no Teste EDE estão descritas abaixo:

- A vazão total de etanol nos experimentos foram: 0,37kg/h, 0,43 kg/h, 0,53 kg/h, 0,60 kg/h e 0,72 kg/h;

- Estratégia de injeção: tripla injeção de combustível;

##### 1ª Injeção

- Combustível: etanol;
- Ponto de injeção: -170° PMS (E-170);

## 2ª Injeção

- Combustível: diesel;
- Ponto de injeção: -8° PMS (D-8);
- Vazão 0,15 kg/h;

## 3ª Injeção

- Combustível: etanol;
- Ponto de injeção em +4° PMS (E+4);

A Tabela 4.5 mostra as características das estratégias de injeção empregadas nos Testes DE, ED e EDE.

Tabela 4.5: Estratégia de Injeção

TESTE	POSIÇÃO DE INJEÇÃO (°) PMS		
	-170	-8	+4
<b>DE</b>	-	DIESEL	ETANOL
<b>ED</b>	ETANOL	DIESEL	-
<b>EDE</b>	ETANOL	DIESEL	ETANOL

Com os dados obtidos nos experimentos realizados nos Testes DE, ED e EDE foi possível observar as modificações causadas pela taxa de substituição do diesel pelo etanol e pelas diferentes estratégias de injeção e comparar as alterações na eficiência, no calor aparente liberado e no atraso da ignição entre o motor original e o motor modificado para operar com tecnologia RCCI.