

5 Tratamento dos Dados

Para cada ensaio, o sistema de aquisição registrou os seguintes dados:

- Rotação do motor (RPM)
- Torque (Nm)
- 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 valores obtidos através do software LabView® em função dos testes realizados são os seguintes:

- 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 [%]

5.1. Potência Efetiva

Denominada também de potência de freio é a potência medida no eixo motor. Conforme mostra a Equação 5.1, a potência efetiva (P_e) é obtida pelo produto entre torque (τ), registrado pelo banco dinamométrico, e a velocidade angular (N), fornecida pelo sensor de rotação.

$$P_e = \frac{2\pi \cdot \tau \cdot N}{60000} \quad (5.1)$$

Neste trabalho a potência efetiva está expressa em [kW]; o torque, em [N.m]; e a velocidade angular N , em [RPM].

5.2. Consumo Específico de Combustível

Este parâmetro é utilizado para medir a eficiência com que o motor transforma a energia química proveniente do combustível em trabalho útil (Heywood, 1988).

Para calcular o consumo específico de combustível do motor operando apenas com óleo diesel (CEC_D) foi utilizada a Equação 5.2.

$$CEC_D = \frac{\dot{m}_D}{P_e} \quad (5.2)$$

Para determinar o consumo específico de combustível do motor operando com óleo diesel e etanol (CEC_{D+E}) foi utilizada a Equação 5.3.

Neste caso, foi feita uma correção pela razão entre os poderes caloríficos inferiores de ambos os combustíveis, com a finalidade de estabelecer uma energia equivalente à que foi empregada no motor operando apenas com óleo Diesel (Ferrari 2011).

$$CEC_{D+E} = \frac{\dot{m}_D + \left(\frac{PCI_E}{PCI_D}\right)\dot{m}_E}{P_e} \quad (5.3)$$

- CEC_D : Consumo específico de combustível do motor operando apenas com óleo diesel [g/kWh].
- CEC_{D+E} : Consumo específico de combustível do motor operando com óleo diesel e etanol [g/kWh].
- \dot{m}_D : Vazão de diesel [g/h].
- \dot{m}_E : Vazão de etanol [g/h].
- PCI_E : Poder calorífico inferior do etanol [kJ/kg].
- PCI_D : Poder calorífico inferior do óleo diesel [kJ/kg].

5.3 Rendimento Térmico

A razão entre a potência efetiva desenvolvida pelo motor e a energia total fornecida pelo combustível é definida como rendimento térmico. Considerando o motor operando apenas com óleo diesel (η_D) o rendimento térmico foi obtido por meio das Equações 5.4 e 5.5

$$\eta_D = \frac{P_e}{\dot{m}_D \cdot PCI_D} \quad (5.4)$$

$$\eta_D = \frac{1}{CEC_D \cdot PCI_D} \quad (5.5)$$

O rendimento térmico do motor operando com óleo diesel e etanol (η_{D+E}) foi obtido por meio das Equações 5.6 e 5.7 (Egúsqiza, 2011; Vasquez, 2009).

$$\eta_{D+E} = \frac{P_e}{\left(\dot{m}_D + \left(\frac{PCI_E}{PCI_D} \right) \dot{m}_E \right) PCI_D} \quad (5.6)$$

$$\eta_{D+E} = \frac{P_e}{\dot{m}_D \cdot PCI_D + \dot{m}_E \cdot PCI_E} \quad (5.7)$$

5.4 Vazão Mássica de Ar Seco

O valor da vazão mássica de ar seco foi obtido por meio da Equação 5.8.

$$\dot{m}_{ar,s} = \frac{\dot{m}_{ar,u}}{1 + w} \quad (5.8)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s})$: Vazão mássica de ar seco
- $(\dot{m}_{ar,u})$: Vazão mássica de ar úmido
- (w) : Umidade absoluta do ar.

Para obter os valores da vazão mássica do ar úmido e a da umidade absoluta do ar foram efetuados cálculos especificados a seguir.

5.4.1 Vazão Volumétrica de Ar Úmido

Este parâmetro foi determinado utilizando um conjunto formado pelos três equipamentos, especificados no Capítulo 4:

- Medidor de fluxo laminar, tradução livre de *Laminar Flow Element* (LFE);
- Transdutor diferencial de pressão;
- Sensor de temperatura.

A vazão volumétrica de ar úmido é calculada por meio da equação 5.9, conforme com o manual do LFE.

$$\dot{Q}_{ar,u} = \frac{1}{2118,9} (B \cdot \Delta P + C \cdot \Delta P^2) \left(\frac{\mu_{std}}{\mu_f} \right) \quad (5.9)$$

Onde:

- $(\dot{Q}_{ar,u})$: Vazão de ar úmido (kg/h);
- B e C: Constantes específicas de cada equipamento de medição (LFE), cujos valores são fornecidos pelo manual do equipamento;
- ΔP : Diferencial de pressões em polegadas de água (in H₂O);

- $\left(\frac{\mu_{std}}{\mu_f}\right)$: Razão entre a viscosidade do gás escoando a 20 °C (μ_{std}), em micropoises, e a viscosidade do fluxo de ar escoando nas condições de operação (μ_f). De acordo com o manual do LFE o valor da viscosidade de referência é $\mu_{fstd} = 181,87 \cdot 10^{-6}$ poises.

5.4.2 Viscosidade do Fluxo de Ar

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.10, conforme com o manual do LFE.

$$\mu_f = \left(\frac{14,58 T_{ar,u}^{3/2}}{110,4 + T_{ar,u}} \right) \left(\frac{\mu_u}{\mu_s} \right) \quad (5.10)$$

Onde:

- (μ_u): Viscosidade do ar saturado
- (μ_s): Viscosidade do ar seco
- $\left(\frac{\mu_u}{\mu_s}\right)$: Razão entre a viscosidade do ar saturado e a viscosidade do ar seco.

Este valor também é obtido do manual de instruções do LFE.

5.4.3. Vazão Mássica de Ar Úmido

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.11.

$$\dot{m}_{ar,u} = \rho_{ar,u} \dot{Q}_{ar,u} \quad (5.11)$$

5.4.4. Massa específica do Ar Ambiente

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.12.

$$\rho_{ar,u} = \frac{P_{ar}}{R_{ar} (273,15 + T_{amb})} \quad (5.12)$$

Onde:

- (ρ_{ar}) : Massa específica do ar ambiente (kg/m^3);
- (P_{ar}) : Pressão Barométrica (kPa);
- (R_{ar}) : Constante do ar ambiente (kJ/kgK);
- (T_{amb}) : Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

5.4.5. Constante do Ar Ambiente

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.13.

$$R_{ar} = \frac{R_{ar,s} + R_v \cdot w}{1 + w} \quad (5.13)$$

Onde:

- (R_{ar}) : Constante do ar ambiente (kJ/kgK);
- $(R_{ar,s})$: Constante do ar seco, $R_{ar,s} = 0,287$ kJ/kgK;
- (R_v) : Constante de vapor d'água, $R_v = 0,46152$ kJ/kgK;
- (T_{amb}) : Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);
- (w) : Umidade absoluta (-).

5.4.6. Umidade Absoluta

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.14 (Ccacya, 2010).

$$w = \frac{0,622 + w_r \cdot P_{sat}}{P_{ar} - (w_r \cdot P_{sat})} \quad (5.14)$$

Onde:

- (w_r) : Umidade relativa (-);
- (P_{sat}) : Pressão de saturação do vapor de água (kPa);
- (P_{ar}) : Pressão Barométrica (kPa).

5.4.7. Pressão de Saturação

Este parâmetro é calculado a partir da Equação 5.15 (Egúsquiza, 2011).

$$P_{sat} = 100 \times 10^{(28,59051 - 8,2 \log T_{amb} + 0,0024804 \times T_{amb} - 3142,31/T_{amb})} \quad (5.15)$$

Onde:

- (P_{sat}): Pressão de saturação do vapor de água (kPa);
- (T_{amb}): Temperatura ambiente (°C);

5.5. Eficiência Volumétrica

Os atritos existentes no percurso traçado pelo ar atmosférico impedem que o cilindro seja plenamente preenchido. A eficiência volumétrica, calculada pela Equação 5.16, é a relação entre a massa de ar que realmente é admitida e a máxima quantidade de ar que seria possível admitir.

$$\eta_V = \frac{2 \dot{m}_{ar}}{\rho_{ar} \cdot V_D \cdot N} \quad (5.16)$$

Onde:

- (η_V) : Eficiência volumétrica (-);
- (\dot{m}_{ar}): Vazão mássica de ar seco (kg/h);
- (ρ_{ar}) : Massa específica do ar seco (kg/m³);
- (N) : Rotação (rpm).

5.6. Fator Lambda (λ)

É a razão entre a relação ar combustível real e a relação ar combustível estequiométrica.

$$\lambda = \frac{(A/C)_r}{(A/C)_e} \quad (5.17)$$

Onde:

- $(A/C)_r$: Relação ar/combustível real
- $(A/C)_e$: Relação ar/combustível estequiométrica

O fator Lambda (λ) mede o quanto a mistura real se afasta da mistura estequiométrica:

- Lambda > 1 , identifica as misturas pobres (excesso de ar);
- Lambda < 1 , identifica as misturas ricas (excesso de combustível);
- Lambda = 1, identifica a mistura estequiométrica ou ideal.

O inverso do fator lambda é a conhecida razão equivalente (ϕ).

5.6.1 Relação Ar/Combustível Real

A relação ar/combustível real representa a proporção das quantidades de massa de ar e de combustível que constituem a mistura, calculada pela Equação 5.18:

$$(A/C)_r = \frac{\dot{m}_{ar,s}}{\dot{m}_{comb}} \quad (5.18)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s})$: Vazão mássica de ar seco (kg/h);
- (\dot{m}_{comb}) : Vazão mássica de combustível (kg/h);

5.6.2 Relação Ar/Combustível Estequiométrica

A relação ar/combustível estequiométrica representa a proporção das quantidades de massa de ar e de combustível que constituem a mistura ideal, capaz de queimar todo o combustível, calculada pela Equação 5.19:

$$(A/C)_e = \frac{\dot{m}_{ar,s,e}}{\dot{m}_{comb,e}} \quad (5.19)$$

Onde:

- $(\dot{m}_{ar,s,e})$: Vazão mássica de ar seco estequiométrica (kg/h);
- $(\dot{m}_{comb,e})$: Vazão mássica de combustível estequiométrica (kg/h);

5.7. Taxa de Substituição

O parâmetro que expressa a porcentagem de massa de óleo diesel que foi substituída pela massa de etanol é denominado de taxa de substituição (TS). É calculado a partir da equação 5.20.

$$TS = \left(1 - \frac{\dot{m}_{D \text{ motor modificado}}}{\dot{m}_{D \text{ motor original}}} \right) \quad (5.20)$$

5.8. Atraso na Combustão

Definido como o intervalo de tempo entre o início da injeção de combustível e o início da combustão. Para determinar o atraso na combustão foi empregado o método baseado nas curvas logarítmicas de pressão e volume (Zegarra, 2016; Egúsquiza, 2014).