

## CAPÍTULO II

### Testes de motores

Os testes de motores, realizados em laboratórios, compreendem um conjunto de experiências necessárias a obter os dados que definem as características de um motor, a saber: potências, rendimentos, consumo de ar e combustível, etc..

Todos os motores de novos projetos são longamente testados até que, introduzindo as modificações necessárias, se atinjam as características previstas.

#### 2.1) Medidas de potência

##### a) Freio de Prony

É o dinamômetro mais rudimentar. Uma correia comprime contra o volante, pedaços de madeira; o atrito assim desenvolvido absorve a potência do motor e a transforma em calor. O freio tende a girar no mesmo sentido que o volante. Ligado ao freio existe um braço de madeira que se apoia sobre um prato de balança exercendo aí uma força  $F$ .

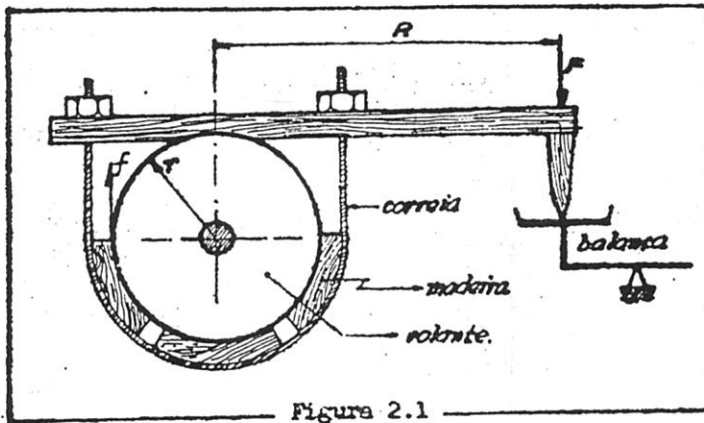


Figura 2.1

Sendo  $f$  a força de atrito entre o volante e a madeira,  $r$  o raio do volante,  $R$  o braço de alavanca e  $F$  a força aplicada na balança, vem

$M_{at}$  = momento de atrito =  $f \cdot r$

$M$  = momento de torção =  $P \cdot R$

$$M = M_{at}$$

Sendo  $n$  o número de rotações por minuto do volante, resulta

$$N = \text{potência} = \frac{\text{trabalho}}{\text{tempo}} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot f = 2 \pi n P R \text{ K*gm}$$

ou

$$N = \frac{2 \pi n P R}{60 \times 75} \text{ CV}$$

$$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{60 \times 75} \text{ é chamada "constante do dinamômetro"}$$

O freio de Prony não é muito usado na prática devido à dispersão de calor, à dificuldade em manter a constância do poder freiante e a possibilidade de bruscas paradas.

b) Freio a água (hidráulico)

Os freios hidráulicos são indicados para grandes capacidades e para resultados acurados. São essencialmente constituídos de um rotor e um estator, sendo introduzido neles uma certa quantidade de água que dará carga ao motor.

Dentre eles destacamos o tipo de Froude, esquematizado na fig. 2.2. Neste freio rotor e estator possuem cavidades,

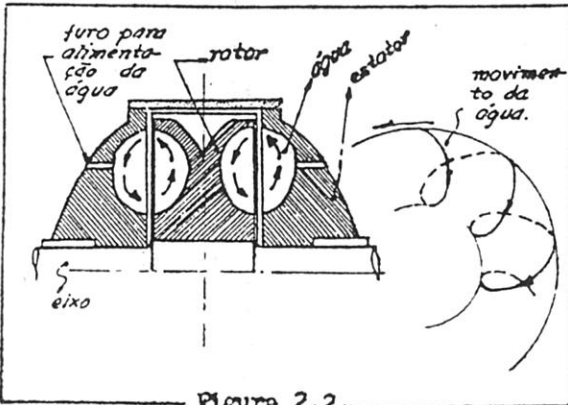


Figura 2.2

que dão à água um movimento de vórtice, o qual absorve potência e a transforma em calor. A água circula continuamente para extrair o calor que é gerado.

A resistência que a água opõe ao movimento reage no estator produzindo

um binário igual ao binário motor, que é desta maneira medido por uma balança. O estator tende a girar no mesmo sentido que o rotor.

Como se pôde notar pela curva característica quando a rotação cai, a carga também diminui, o que significa uma parada mais suave do que no freio de ... Prony.

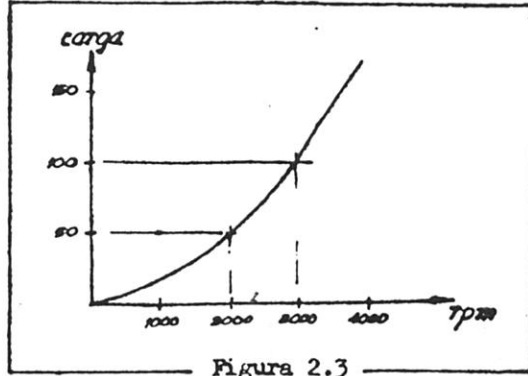


Figura 2.3

Variando a quantidade de água em circulação, obtemos variações de carga aplicadas no motor.

Segundo Gibsons, o trabalho em cada lado do disco vale

$$L = 2\pi f \omega^3 \int_{R_2}^{R_1} R^4 dR$$

onde  $f = cte = 0,004$  e  $\omega =$  velocidade angular.

Integrando

$$L = \frac{2\pi f \omega^3}{5} (R_1^5 - R_2^5) \text{ lbxft}$$

Como

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (n \text{ em rpm}),$$

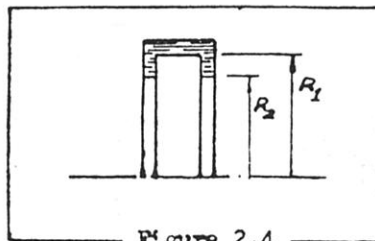


Figura 2.4

vem

$$N = \frac{L}{550} \cdot \frac{2\pi f}{5 \times 550} \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^3 (R_1^5 - R_2^5)$$

ou

$$N = 10^{-8} \cdot n^3 (R_1^5 - R_2^5) \text{ HP}$$

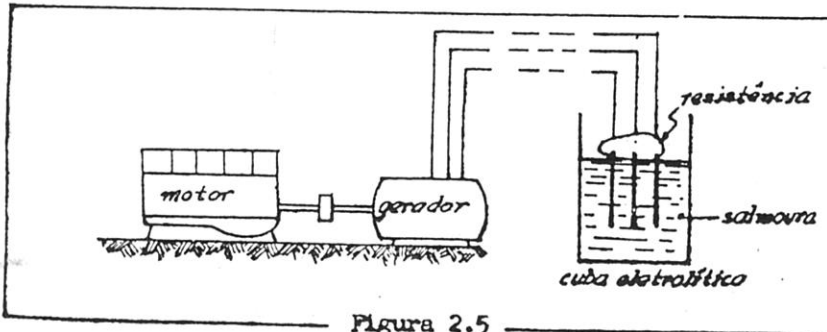
Em conclusão, a potência é proporcional ao cubo da rotação (ver. fig. 2.3).

Freios deste tipo foram construídos para até .... 10.000 rpm e grandes freios para até mais de 4000 HP a 800 e 900 rpm.

O freio de Froude é particularmente usado para cargas elevadas e altas rotações, pois em baixas velocidades a capacidade de absorção da água é limitada.

c) Freios elétricos

São muito usados devido as suas características de sensibilidade e precisão. Medindo-se o fornecimento de energia do gerador, tem-se a potência fornecida pelo motor, a menos do rendimento do gerador.



Esse sistema porém não é utilizado pois o rendimento do gerador é variável com a carga, rotação e temperatura. Para contornar essa dificuldade liga-se a carcaça do gerador a um braço de alavanca e mede-se a força exercida sobre uma balança (fig. 2.6).

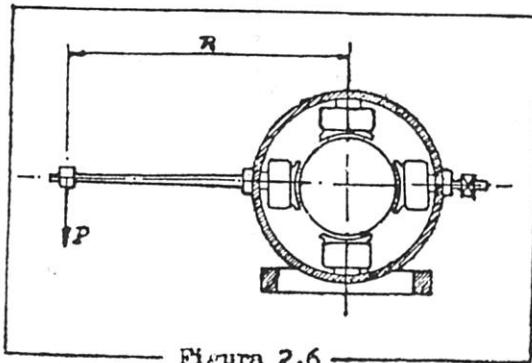


Figura 2.6

O dinamômetro elétrico pode funcionar como motor elétrico e acionar o motor medindo assim a potência de atrito, gasta para girar o motor, em cada rotação.

Fazendo o motor partir, o gerador pode passar a funcionar como freio, dando carga ao motor.

A curva característica é constituída de 3 trechos:

- AB - curva com variação de fem e com corrente constante
- BC - Limite pelo superaquecimento
- CD - Limite de rotação que o fabricante indica para evitar o rompimento do enrolamento pela força centrífuga.

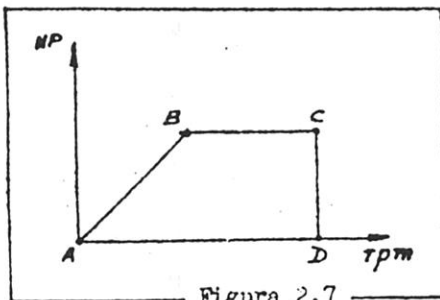


Figura 2.7

d) Freios a hélice

Esses freios, apesar de simples, são pouco usados na determinação de potências, devido à imprecisão nas leituras. Isto porque a potência absorvida é função das características físicas do ar e também porque se torna difícil variar a carga em regime de rotação constante, a não ser que se disponha de hélices de passo variável.

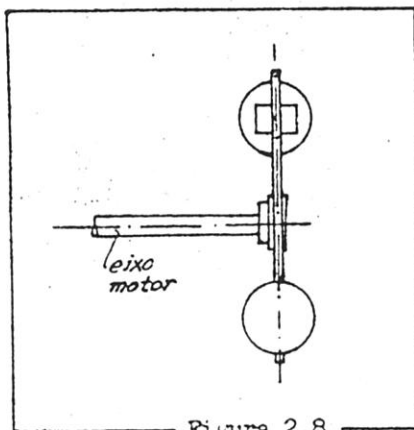


Figura 2.8

Convém salientar que seu emprego pode se tornar perigoso, se o diâmetro e a velocidade de rotação forem altos.

São usados principalmente em testes de duração de motores. Um outro método utilizado é adaptar um braço no corpo do motor e medir, numa balança, o esforço exercido pela extremidade livre, como no caso dos freios anteriores.

2.2) Quadro comparativo, considerando custo e flexibilidade de operação

Flexibilidade	Custo
1º freio elétrico	mais caro
2º freio a água	pequeno (p/grandes capacidades, bons resultados)
3º freio de Prony	

### 2.3) Determinação da rotação

*mais usado* →

- a) **tacômetro:** é um instrumento indicador da velocidade angular instantânea.
- b) **odômetro:** integra a leitura instantânea durante um certo tempo. Cronometrando-se o tempo necessário para dar um certo número de giros, tem-se a rotação média do motor.
- \* c) **sistema estroboscópico.** *Lâmpada acende e apaga instantaneamente segundo de uma certa frequência \**

### 2.4) Medidas de consumo

#### a) Consumo de combustível

Três métodos são usados:

- 1) pesar o combustível antes e depois do teste ;
- 2) medir o volume e transformá-lo em peso. Não é indicado, mas é o mais fácil;
- 3) usando o rotâmetro de Fisher-Porter (fig. 2.9). Este aparelho fornece leituras instantâneas e por isso, a menos que o consumo se mantenha constante, não é aconselhável para fornecer o valor médio.

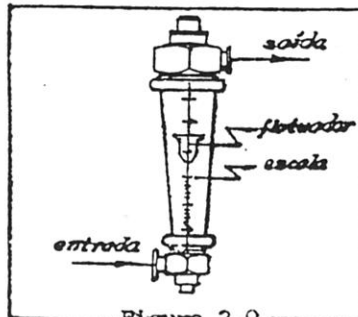


Figura 2.9

#### b) Consumo de ar

O consumo de ar é medido por orifícios, de acordo com os códigos da ASME. Para grandes vazões, para evitar grande perda de carga, usam-se vários orifícios em paralelo.

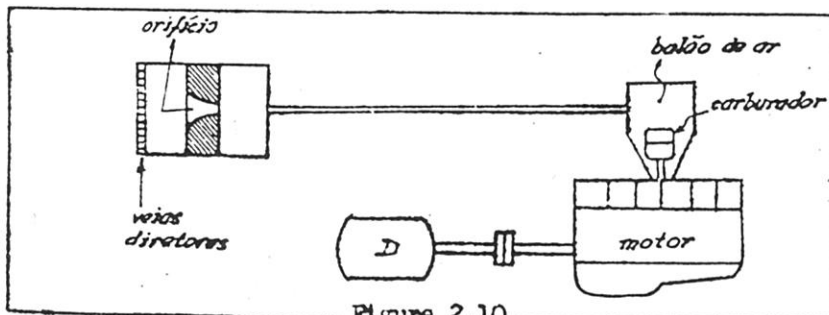


Figura 2.10

\* ao coincidir com o nº de rotações do eixo ficará como se estivesse parado.

A finalidade do balão de ar indicado na fig. 2.10 é diminuir a pulsação de aspiração.

O consumo de ar é determinado, conhecendo-se as dimensões do orifício e as pressões antes e depois.

## 2.5) Características de um motor

### a) Potência

Num motor de combustão interna, definimos as seguintes potências:

1) Brake horse power - bhp - como sendo a potência desenvolvida no eixo motor. Também é denominada potência efetiva -  $N_e$  -.

2) Indicated horse power - ihp - como sendo a desenvolvida na cabeça do pistão. É determinada por meio de um "indicador".

3) Friction horse power - fhp - potência de atrito.

Logo

$$fhp = ihp - bhp$$

$$N_{at} = N_i - N_e$$

Resumo:

Brake horse power - bhp -  $N_e$ : potência efetiva

Indicated horse power - ihp -  $N_i$ : potência indicada

Friction horse power - fhp -  $N_{at}$ : potência de atrito.

$N_{at}$  é de difícil determinação e geralmente é calculada pelo teste do dinamômetro elétrico. Na potência de atrito é incluída também a potência de bombeamento necessária para admitir a carga de gases novos.

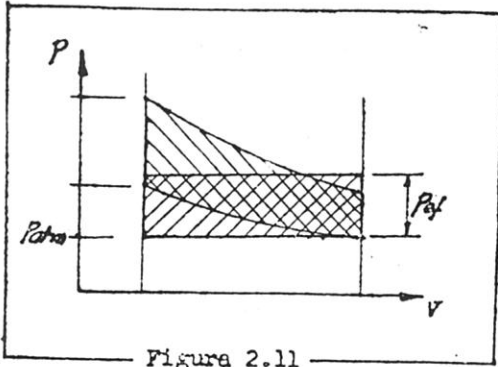
### b) Rendimento mecânico

É a relação

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_{at}}{N_i} = 1 - \frac{N_{at}}{N_i}$$

c) Pressão efetiva média

Define-se pressão efetiva média como sendo a altura de um retângulo que tem por base o volume  $V$ , deslocado pelo pistão, e área igual ao trabalho realizado por ciclo (figura 2.11).



Quando é referida a "bhp" tem-se a Brake mean effective pressure - bmep - e se referida a "ihp" a Indicated mean effective pressure - imep -.

Figura 2.11

Cálculo da potência em função da pressão efetiva média

S = curso do pistão

d = diâmetro do pistão

n = nº de rotações por minuto

x = nº de rotações exigidas p/cada curso motor

x = 2 p/motor de 4 tempos

x = 1 p/motor de 2 tempos

z = nº de cilindros

$P_{ef}$  = pressão efetiva média

$\frac{\pi \cdot d^2}{4}$  = área da cabeça do pistão

$P_{ef} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  = força sobre o pistão

$P_{ef} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S$  = trabalho exercido por curso motor por cilindro

$P_{ef} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S \cdot z \cdot \frac{n}{x}$  = trabalho exercido por todos os cilindros por minuto.

Daf:

$$p_{mat} = p_{mi} - p_{me}$$

*diferença entre a pres. média ind. e a pres. méd. efetiva é a pres. méd. de atrito.*



$$N_e = \text{potência efetiva do motor} = p_{ef} \frac{\pi d^2}{4} S \cdot z \frac{n}{x} \frac{1}{50 \times 75}$$

Analogamente, para a potência indicada, obtem-se:

$$N_i = p_i \frac{\pi d^2}{4} S \cdot z \frac{n}{x \cdot 60 \cdot 75}$$

Conseqüentemente:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{p_{ef}}{p_i}$$

d) Cilindrada

É o volume deslocado pelo pistão. Para um motor de 1 cilindro vale

$$V = \frac{\pi d^2}{4} S$$

e) Consumo específico

Se B o consumo de combustível em kg/h e N a potência em HP, define-se consumo específico

$$c = \frac{B}{N} \text{ kg/h.HP}$$

f) Rendimento térmico

É a relação

$$\eta_t = \frac{\text{equivalente térmico do trabalho executado}}{\text{calor fornecido}}$$

Como o calor fornecido pode ser medido a v cte ou a p cte, a partir do poder calorífico superior ou inferior, e ainda a partir do combustível líquido ou gasoso, tem-se 8 rendimentos térmicos. O consumo específico é um meio melhor para a comparação dos motores.

g) Relação ar - combustível

$$AC = \frac{\text{kg ar/tempo}}{\text{kg comb./tempo}}$$

ou

$$CA = (AC)^{-1}$$

Em média, num motor a gasolina

$$CA = 1/15$$

h) Rendimento volumétrico

É definido como sendo:

$\eta_v$  é a relação da massa de ar realmente aspirada por massa de ar que ocuparia o volume deslocado pelo cilindro nas condições atmosféricas.

$\eta_v$  é, em geral, menor que 1, devido às fugas, inércia do ar, temperatura da parede do cilindro e perdas de carga na admissão. Nos motores sobrealimentados, porém,  $\eta_v$  poderá ser maior do que 1.

i) Relações para comparação de motores

São particularmente indicadas as seguintes características:

- 1) consumo específico.
- 2) bmep.
- 3) p̄so específico do motor :  $\frac{\text{p̄so do motor}}{\text{bhp}}$
- 4) potência liberada por cilindrada.

## 2.6) Tipos de testes

Os testes podem ser de dois tipos:

- a) Testes com velocidade variável;
- b) Testes com velocidade constante.
  - a<sub>1</sub>) Testes com velocidade variável para motores a explosão.

Para um teste a plena carga, o carburador é totalmente aberto e a rotação é variada, ajustando a carga externa. A faísca é ajustada, se fôr manual, para sempre dar a

máxima potência em cada rotação. Anotando as leituras de rotação, potência, torque, pressão efetiva média, consumo de combustível, pode-se traçar as curvas de funcionamento do motor (ver. figura 2.12).

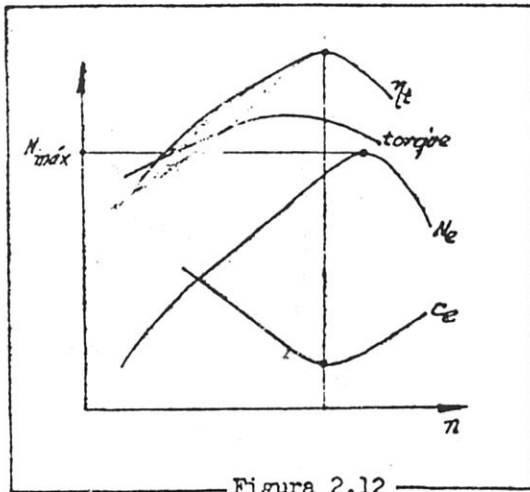


Figura 2.12

a<sub>2</sub>) Testes com velocidade variável para motores diesel

Nos motores diesel a rotação é variada também com o auxílio de carga. A condição de plena carga porém é caracterizada pelo aparecimento de uma ligeira fumaça.

Desde que o motor diesel consome uma quantidade constante de ar, perto da plena carga, somente, é que o motor terá pequeno excesso de ar, sendo que a plena carga é caracterizada pelo aparecimento de fumaça, indício de que nem todo combustível foi queimado por não ter encontrado oxigênio suficiente.

Não há portanto um limite bem definido mas uma faixa.

b) Teste com velocidade constante

Varia-se a carga e a rotação é mantida constante com auxílio da borboleta do carburador, num motor de explosão, e por meio da bomba injetora, no motor Diesel.

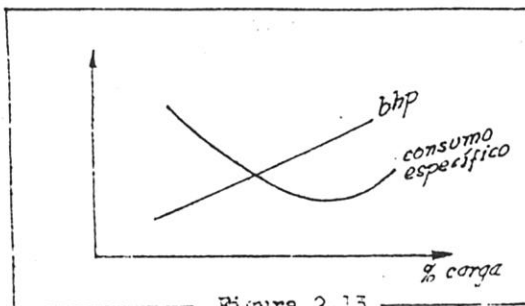


Figura 2.13

Num motor diesel a plena carga será caracterizada também pelo aparecimento de fumaça.

-----  
Exercício:

Um motor de 6 cilindros com  $d = 3 \frac{1}{2}''$  e  $S = 3 \frac{3}{4}''$ , foi carregado por um dinamômetro elétrico cuja braço mede 0,717 m (medido até o centro do gerador).

O teste indicou que para 3.300 rpm o esforço exercido na escala era de 27,3 kg. Imediatamente após esse teste o motor foi girado pelo dinamômetro, mantendo-se as mesmas condições de temperatura do óleo de lubrificação e da água de refrigeração, à rotação de 3.300 rpm. A leitura na escala foi então de 11 kg.

Pede-se:

- 1) a constante do dinamômetro
- 2) a potência efetiva desenvolvida pelo motor (bhp)
- 3) a potência de atrito
- 4) o rendimento mecânico
- 5) o torque
- 6) a cilindrada
- 7) a pressão efetiva média (bmep)
- 8) a pressão indicada média (imep).

- 1) K do dinamômetro

$$K = \frac{2\pi \cdot l}{60 \times 75} = \frac{2\pi \times 0,717}{60 \times 75}$$

$$K = 10^{-3}$$

- 2) bhp

$$N_e = K \cdot F \cdot n = 10^{-3} \times 27,3 \times 3.300$$

$$N_e = 90 \text{ HP}$$

- 3) fhp

$$N_{at} = \frac{F' \cdot n}{1000} = \frac{11 \times 3.300}{1000}$$

$$N_{at} = 36,3 \text{ HP}$$

4)  $\eta_m$

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_e}{N_e + N_{at}} = \frac{90}{90 + 36,3}$$

$$\eta_m = 0,713$$

5) Torque

$$T = r \cdot l = 27,3 \times 0,717$$

$$T = 19,5 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

6) Cilindrada

$$S = 3 \frac{3}{4}'' = 9,52 \text{ cm}$$

$$d = 3 \frac{1}{2}'' = 8,90 \text{ cm}$$

$$V' = \frac{\pi \cdot d^2}{4} S = \frac{\pi (9,52)^2}{4} \times 8,9 = \frac{712 \text{ cm}^3}{633,46} \text{ por cilindro}$$

Como  $V = 6 V'$

$$V = \frac{4,272 \text{ cm}^3}{3,801 \text{ cm}^3}$$

7) bmep

$$N_e = P_{ef} \frac{\pi \cdot d^2}{4} S \cdot z \frac{n}{60} \frac{1}{75}$$

Portanto

$$90 = P_{ef} \cdot 4272 \times 10^{-6} \frac{3300}{2 \times 60 \times 75}$$

$$P_{ef} = 5,75 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2 = 5,75 \text{ kg/cm}^2$$

8) imep

$$\eta_m = \frac{bmep}{imep}$$

$\therefore imep = \frac{5,75}{0,715}$

$\therefore imep = 8,07 \text{ kg/cm}^2$

\*\*\*\*\*

Local	Condição no motor	Combustão	Ciclo Teórico	Ciclo Real	Efetivo	Atrito
<del>Quantidade</del>					Exo	
Relações (M)	N combustível	Ne	Nid N <sub>te</sub>	Nir	Ne	Nat
Pressões Médias	P <sub>m</sub> combustível	P <sub>m</sub> combustão	P <sub>m</sub> id ou P <sub>m</sub> it	P <sub>m</sub> ir	P <sub>m</sub> e	P <sub>m</sub> at
Rendimento-tos	$\eta_c$	$\eta_{cd}$	$\eta_T$	$\eta_m$		

rend. teórico  
de ciclo  
ideal ou teórico

rend. Termomecânico

$N_{comb} \times \eta_c = N_e$

$N_e \times \eta_{cd} = N_{id}/N_{it}$

$N_{id} < \eta_T = N_{ir}$

$N_{ir} \times \eta_m = N_e$

$N_e = \eta_{comb} \times \eta_T \times \eta_{id} \times \eta_c \times N_{comb}$

$N_e = N_{it} - N_{at}$

$\eta_m = \frac{N_e}{N_{ir}} = \frac{N_{it} - N_{at}}{N_{ir}}$

$\eta_m < 1,0$

$\eta_e = \frac{N_e}{N_{comb}} = \eta_c \times \eta_{id} \times \eta_T \times \eta_m$

$\eta_e = \text{rend. elétrico ou global}$