

AULA 30 DE ABRIL

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE MOTORES

1. REVISÃO
2. CONTINUAÇÃO DA QUESTÃO ILSTRATIVA
3. OUTROS PARÂMETROS
 - a) Eficiência volumétrica
 - b) Capacidade em ar
 - c) Eficiência de lavagem
4. ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES
5. REGIÃO DE OPERAÇÃO

AULA 30 DE ABRIL

REVISÃO

1. ENUNCIADO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA
2. RESULTADOS DOS PRIMEIROS ITENS
3. ENSAIOS DE MOTORES

QUESTÃO ILUSTRATIVA

Foi realizado um ensaio em um banco de provas com um motor Diesel de média rotação turbo-carregado, de acordo com a curva do propulsor. Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Resultados de Ensaio

VARIÁVEL	<i>CONDIÇÕES</i>	
	1	2
Velocidade Média do Pistão (m/s)	6,0	8,0
Eficiência Mecânica	0,84	0,90
Consumo de Combustível (kg/h)	m_c	$2,25 m_c$

QUESTÃO ILUSTRATIVA

A partir dos dados da tabela 4.1 propõe-se uma série de quesitos

a) Qual a relação entre os valores de pressão média efetiva no freio para os dois pontos do ensaio? E para os valores da pressão média efetiva indicada?

b) Qual é a eficiência térmica para a condição 2, sabendo que para a condição 1 ela é 0,45?

c) Qual a relação entre a eficiência volumétrica para os 2 pontos, sabendo que para a segunda condição a razão combustível-ar é 50% mais rica?

d) Qual a relação entre o consumo específico de ar nos 2 pontos?

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO

ITEM A

$$\begin{aligned} (pme)_{f_2} / (pme)_{f_1} &= [(Potência)_{f_2} / N_2] / [(Potência)_{f_1} / N_1] = \\ &= (Potência)_{f_2} / (Potência)_{f_1} \times N_1 / N_2 = (N_2 / N_1)^2 \\ (pme)_{f_2} / (pme)_{f_1} &= (N_2 / N_1)^2 = (V_{p2} / V_{p1})^2 \end{aligned}$$

Com os dados do ensaio:

$$(pme)_{f_2} / (pme)_{f_1} = (V_{p2} / V_{p1})^2 = (8,0/6,0)^2 = 1,81$$

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO

ITEM A

$$(pme)_{i2} / (pme)_{i1} = (pme)_{f2} / (pme)_{f1} \eta_{m1} / \eta_{m2}$$

$$(pme)_{i2} / (pme)_{i1} = [(pme)_{f2} / (pme)_{f1}] / [\eta_{m2} / \eta_{m1}] =$$

$$(pme)_{i2} / (pme)_{i1} = 1,81 / (0,9 / 0,84) = 1,69$$

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO

ITEM B

Empregando as relações as definições de eficiência mecânica e eficiência térmica:

$$\eta_{t2} / \eta_{t1} = [(Potência)_{f2} / (Potência)_{f1}] / \{ [\eta_{m2} / \eta_{m1}] [(\dot{m})_{comb2} / [(\dot{m})_{comb1}]] \}$$

Com os dados do ensaio, obtém-se:

$$\eta_{t2} / \eta_{t1} = [8,0 / 6,0]^3 / \{ [0,90 / 0,84] [2,25] \} = 0,97$$

Como é conhecido o valor de η_{t1} , obtém-se o valor de η_{t2} :

$$\eta_{t2} = 0,44$$

TIPOS DE ENSAIO E EQUIPAMENTOS

1. TESTE DE MOTORES DIESEL

a) Teste de plena carga

Objetivo: Verificar a potência máxima que o motor pode fornecer a cada rotação

b) Teste de propulsão marítima

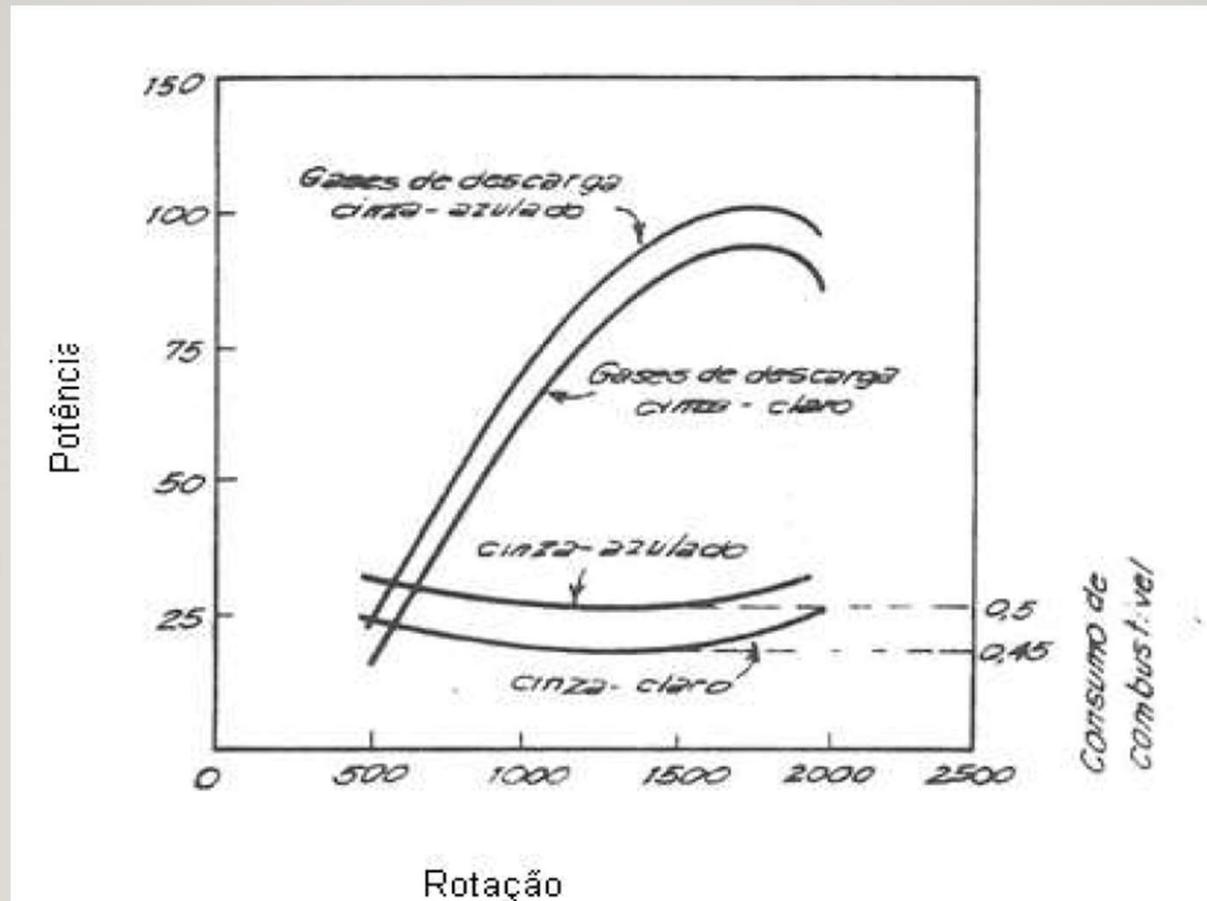
Objetivo: Testar o n condição

Potência \propto Rotação³

2. DINAMÔMETRO HIDRÁULICO

Equipamento normalmente empregado para ensaios de motores de propulsão marítima

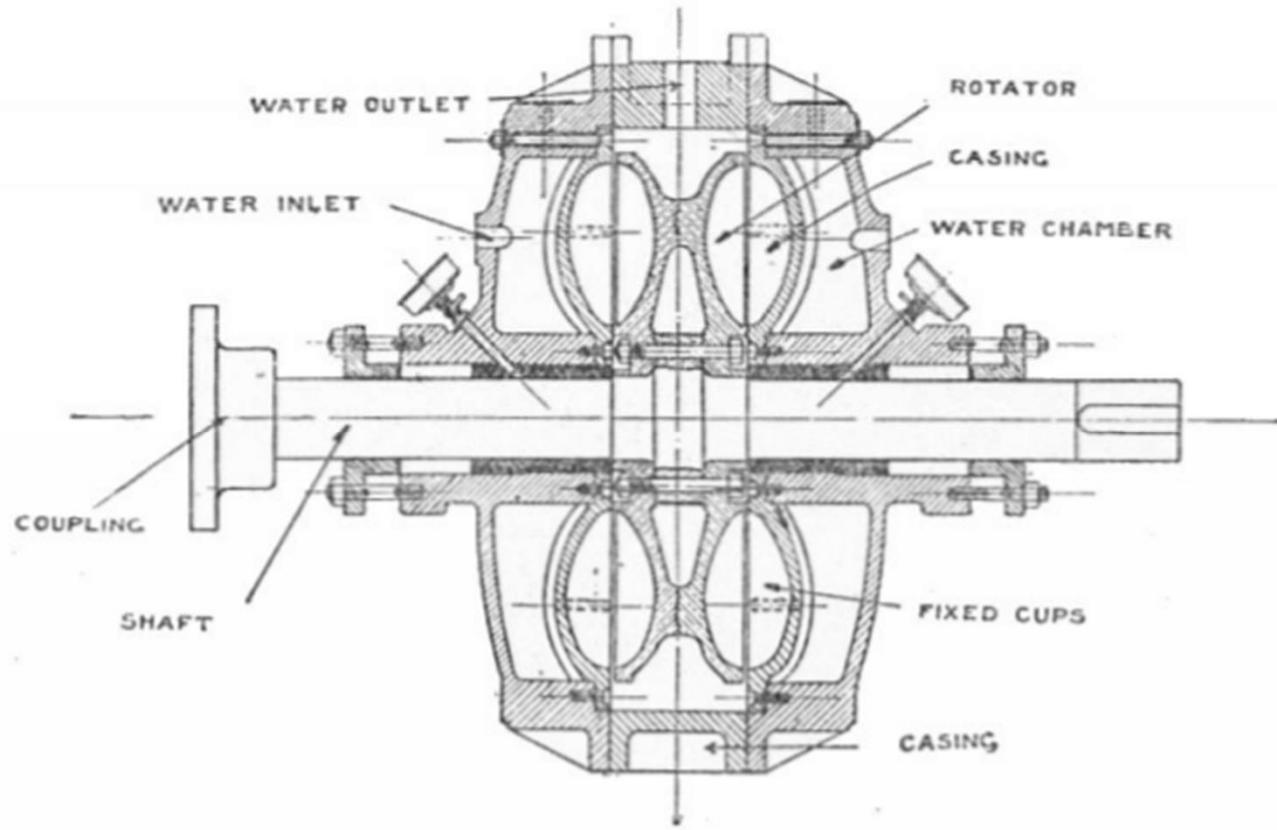
TESTE DE PLENA CARGA



H36 Series Water Brake Engine Dyno

<https://www.youtube.com/watch?v=VYNvRGCoy2M>





Esquema de um dinamômetro hidráulico para ensaios acadêmicos

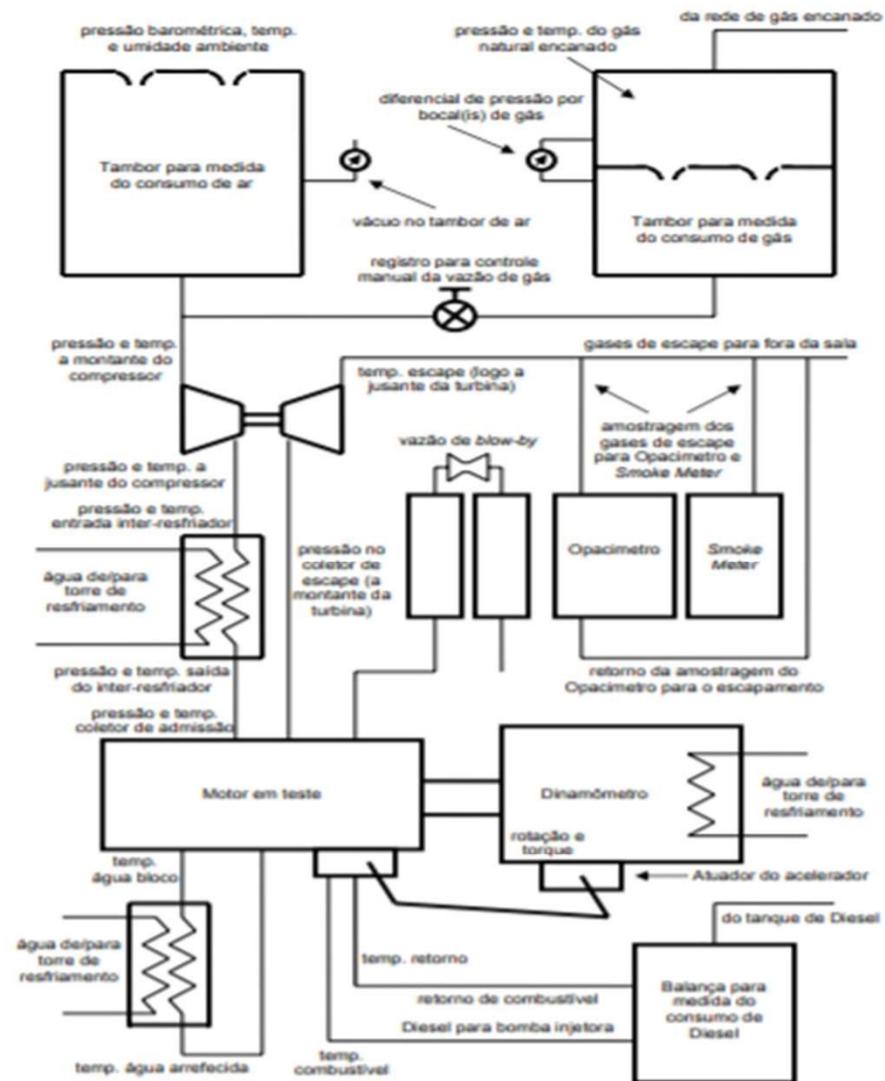


Figura 4: Esquema do aparato experimental.

PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DE UM DINAMÔMETRO HIDRÁULICO

Um dinamômetro hidráulico é constituído por um rotor que possui várias células nas quais um fluxo contínuo de água é mantido através de sua carcaça

Uma intensiva circulação do fluido é criada quando o rotor é acionado pelo motor em teste devido à força centrífuga atuante

O objetivo é transferir momento do rotor para a carcaça, conseqüentemente desenvolvendo um torque resistivo à rotação do eixo, balanceado por um torque de reação com mesmo módulo, direção e sentido oposto na carcaça

Alterando o fluxo de água na carcaça, o torque resistivo que atua no sistema pode ser variado. A potência absorvida pelo rotor é dissipada em forma de atrito pelo próprio fluido, resultando na elevação de sua temperatura.

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ITEM C

VOLUME DE AR ASPIRADO PELO MOTOR NA UNIDADE DE TEMPO

Corresponde ao produto do volume que pode ser introduzido em cada cilindro em um curso de admissão pelo número de cilindros pelo número de ciclos na unidade de tempo

$$\dot{V}_{ar} = V_D z N_{ciclo}$$

Para motores de 4 tempos

$$N_{ciclo} = N/2$$

MASSA DE AR ASPIRADO PELO MOTOR NA UNIDADE DE TEMPO

Admitindo uma densidade do ar nas condições de admissão

$$(\dot{M}_{ar})_{ideal} = V_D z N_{ciclo} \rho_{ad}$$

Qual a definição de eficiência volumétrica (η_v) ?

$$\eta_v = (\dot{M}_{ar})_{real} / V_D z N_{ciclo} \rho_{ad}$$

Assim a eficiência volumétrica estabelece uma relação entre a quantidade de ar admitido realmente no cilindro e aquela que preencheria o cilindro com a densidade do ar de admissão

No final do processo de admissão a densidade do ar no cilindro é menor que na admissão

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO

ITEM C

POR QUE EXISTE UMA VARIAÇÃO DA DENSIDADE DO AR?

1. Transferência de calor para o ar (mistura ar – combustível que entra nos cilindros)

Como as paredes do motor estão quentes o ar é aquecido com redução e sua densidade

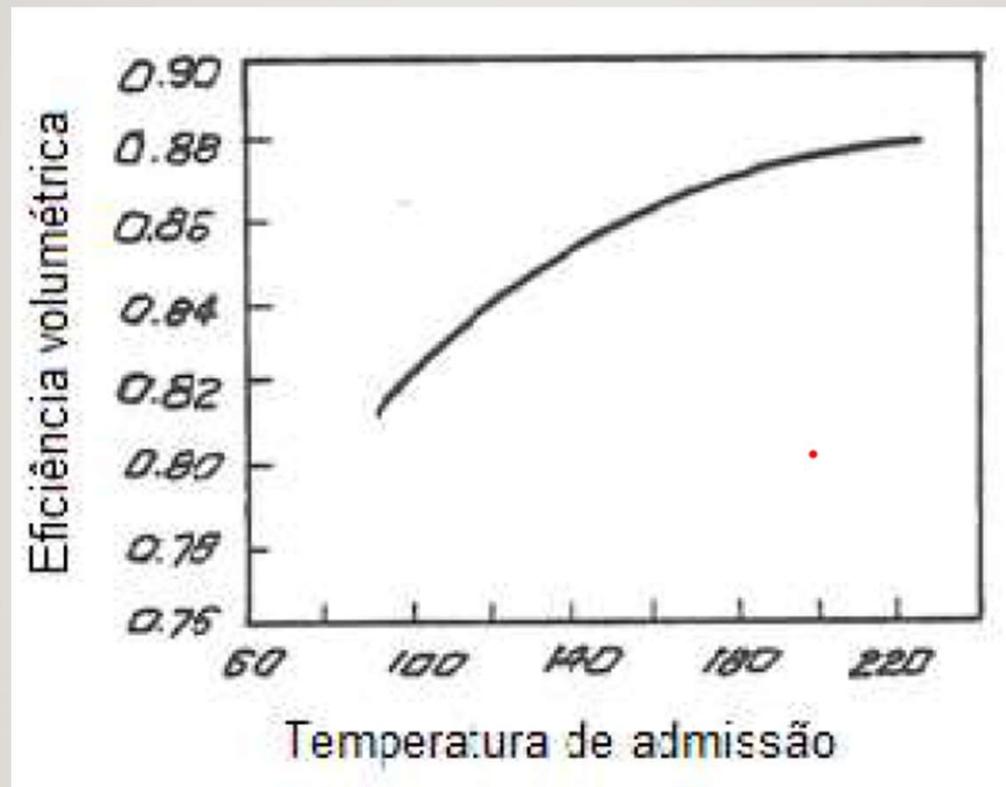
2. Pelo efeito da diferença entre pressão de admissão e pressão de descarga

Quando a pressão de descarga é maior que a pressão de admissão os gases residuais expandem e há menor volume disponível para o ar

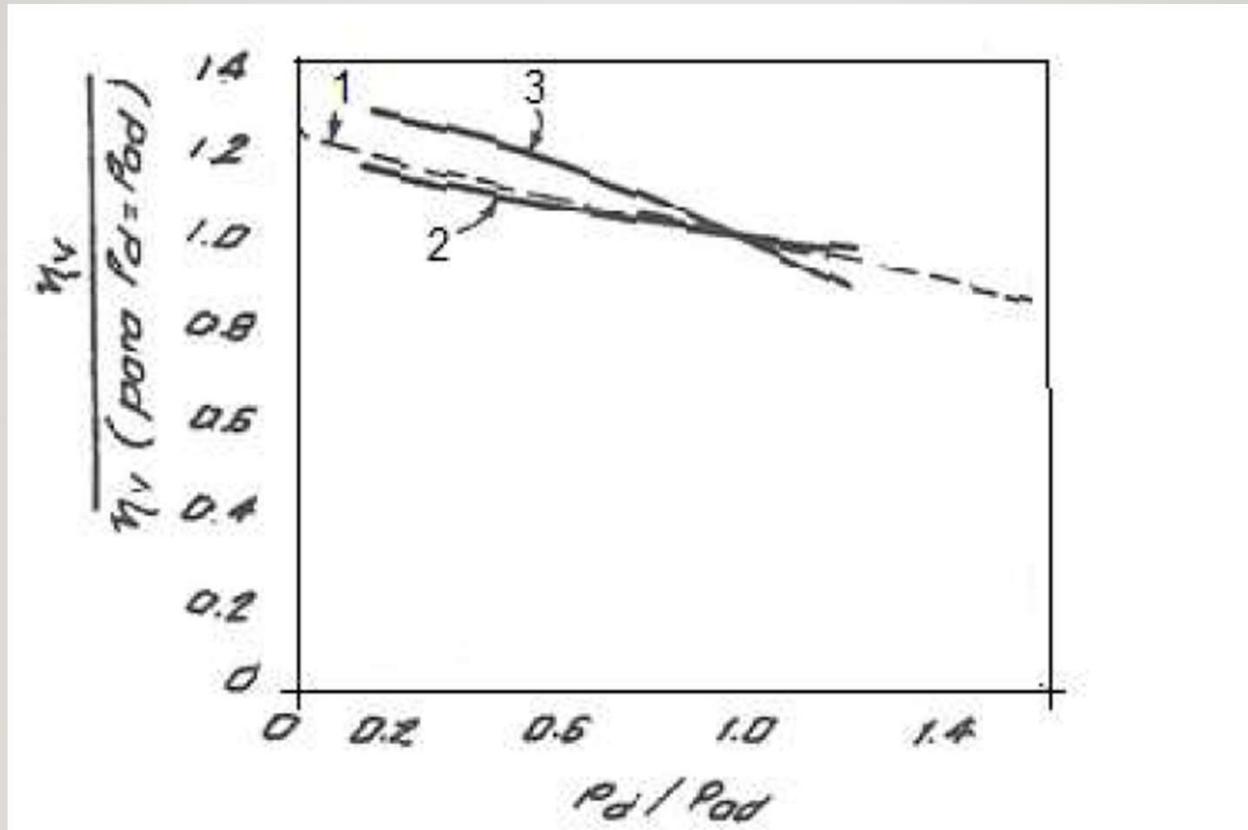
3. Por efeitos dinâmicos devido à aceleração do escoamento do fluido na entrada no cilindro

Com o aumento de velocidade são relevantes os efeitos de estrangulamento na válvula de admissão: menos massa de ar é admitida. Há também o efeito oposto de inércia do escoamento: como a válvula fecha depois de PMI o ar continua entrando no cilindro

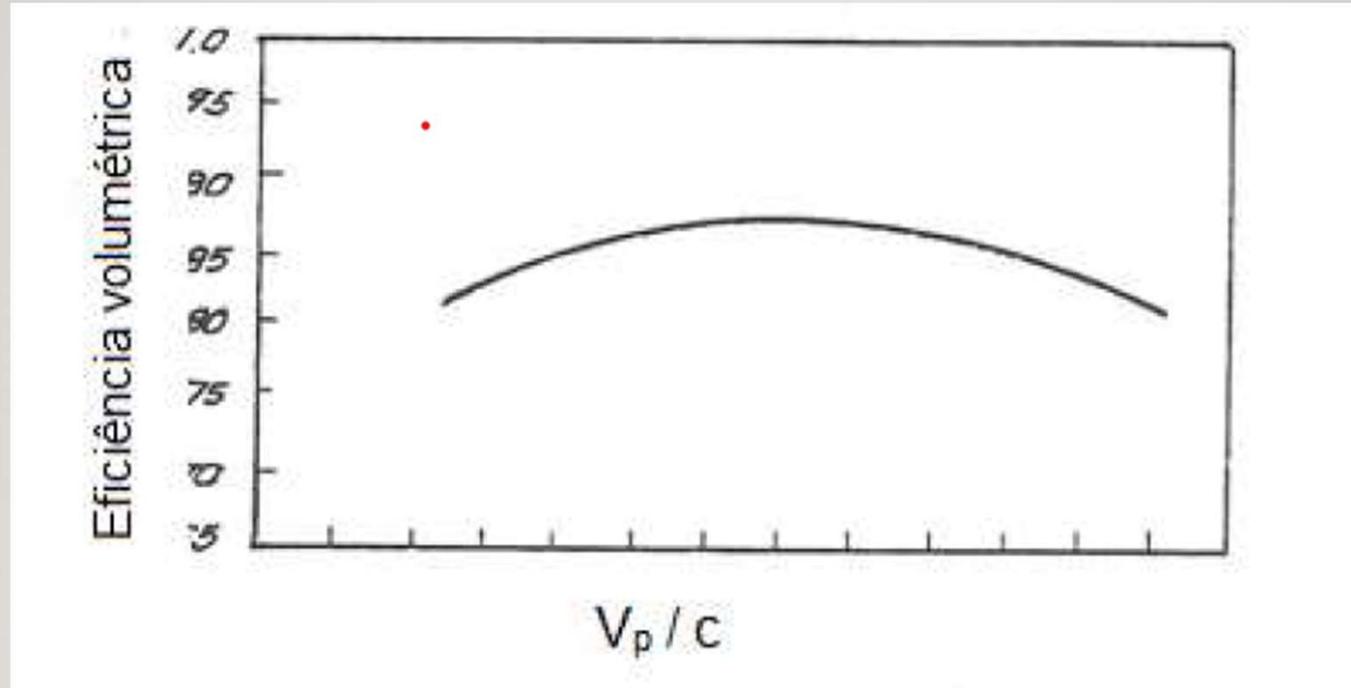
EFEITO DA TEMPERATURA DE ADMISSÃO SOBRE A EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA



EFEITO DA RAZÃO ENTRE PRESSÃO
DE ADMISSÃO E DE DESCARGA SOBRE A
EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA



EFEITO DA RAZÃO VELOCIDADE MÉDIA DO PISTÃO SOBRE A EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA



Observar que V_p pode ser substituído por N

C é a velocidade do som no escoamento

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ITEM C

Qual a relação entre a eficiência volumétrica para os 2 pontos, sabendo que para a segunda condição a razão combustível-ar é 50% mais rica?

Sabe-se que a razão combustível- ar (F) pode ser expressa por:

$$F = m_{\text{comb}} / m_{\text{ar}} = \dot{m}_{\text{comb}} / \dot{m}_{\text{ar}}$$

Sabe-se que

$$F_2 = 1,5 F_1$$

Ou seja

$$(\dot{m}_{\text{ar}})_2 / (\dot{m}_{\text{ar}})_1 = (\dot{m}_{\text{comb}})_2 / (\dot{m}_{\text{comb}})_1 (1/1,50) = 2,25 / 1,5 = 1,5$$

Então

$$\eta_{v2} / \eta_{v1} = [(\dot{m}_{\text{ar}})_2 / (\dot{m}_{\text{ar}})_1] / (N_2 / N_1) = 1,5 / 1,33 = 1,13$$

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ITEM D

Qual é a definição de consumo específico de ar c.e.ar

Lembrar a definição de consumo específico de combustível

$$\text{c.e.c} = \dot{m}_{\text{comb}} / (\text{Potência})_f$$

Logo

$$\text{c.e.ar} = \dot{m}_{\text{ar}} / (\text{Potência})_f$$

Qual a relação entre o consumo específico de ar nos 2 pontos?

$$\begin{aligned} (\text{c.e.ar})_2 / (\text{c.e.ar})_1 &= [(\dot{m}_{\text{ar}})_2 / (\dot{m}_{\text{ar}})_1] / [(\text{Potência})_{f2} / (\text{Potência})_{f1}] = \\ &= 1,5 / 2,35 = 0,64 \end{aligned}$$

CAPACIDADE EM AR

CÁLCULO DE POTÊNCIA

$$(\text{Potência})_f = \dot{m}_{\text{comb}} (\text{Poder Calorífico}) \eta_t \eta_m$$

Sabe-se que:

$$F = \dot{m}_{\text{comb}} / \dot{m}_{\text{ar}}$$

Pode-se então escrever

$$(\text{Potência})_f = \dot{m}_{\text{ar}} F (\text{Poder Calorífico}) \eta_t \eta_m$$

Percebe-se nesta expressão a importância do parâmetro \dot{m}_{ar} na estimativa da potência do motor

\dot{m}_{ar} é conhecido como capacidade em ar do motor

CAPACIDADE EM AR

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EM AR

Motores de 4 tempos:

Definição: Capacidade em ar é a massa de ar aspirada pelo motor por unidade de tempo

Estimativa da capacidade em ar: $(\dot{m}_{ar})_{ideal}$

$$(\dot{m}_{ar})_{ideal} = V_D z N/2 \rho_{ad}$$

Capacidade em ar

$$\dot{m}_{ar} = V_D z N_{ciclo} \rho_{ad} \eta_v$$

CAPACIDADE EM AR

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EM AR

Motores de 2 tempos: é a massa de ar retida no motor por unidade de tempo

Estimativa da capacidade em ar: $(\dot{m}_{ar})_{ideal}$

$$(\dot{m}_{ar})_{ideal} = [r/(r-1)]V_D z N \rho_{ad}$$

Capacidade em ar

$$\dot{m}_{ar} = [r/(r-1)]V_D z N \rho_{ad} \eta_{lav}$$

em que η_{lav} é a eficiência de lavagem

EFICIÊNCIA DE LAVAGEM E RAZÃO DE LAVAGEM

Motores de 4 tempos \longrightarrow eficiência volumétrica

Motores de 2 tempos \longrightarrow eficiência de lavagem

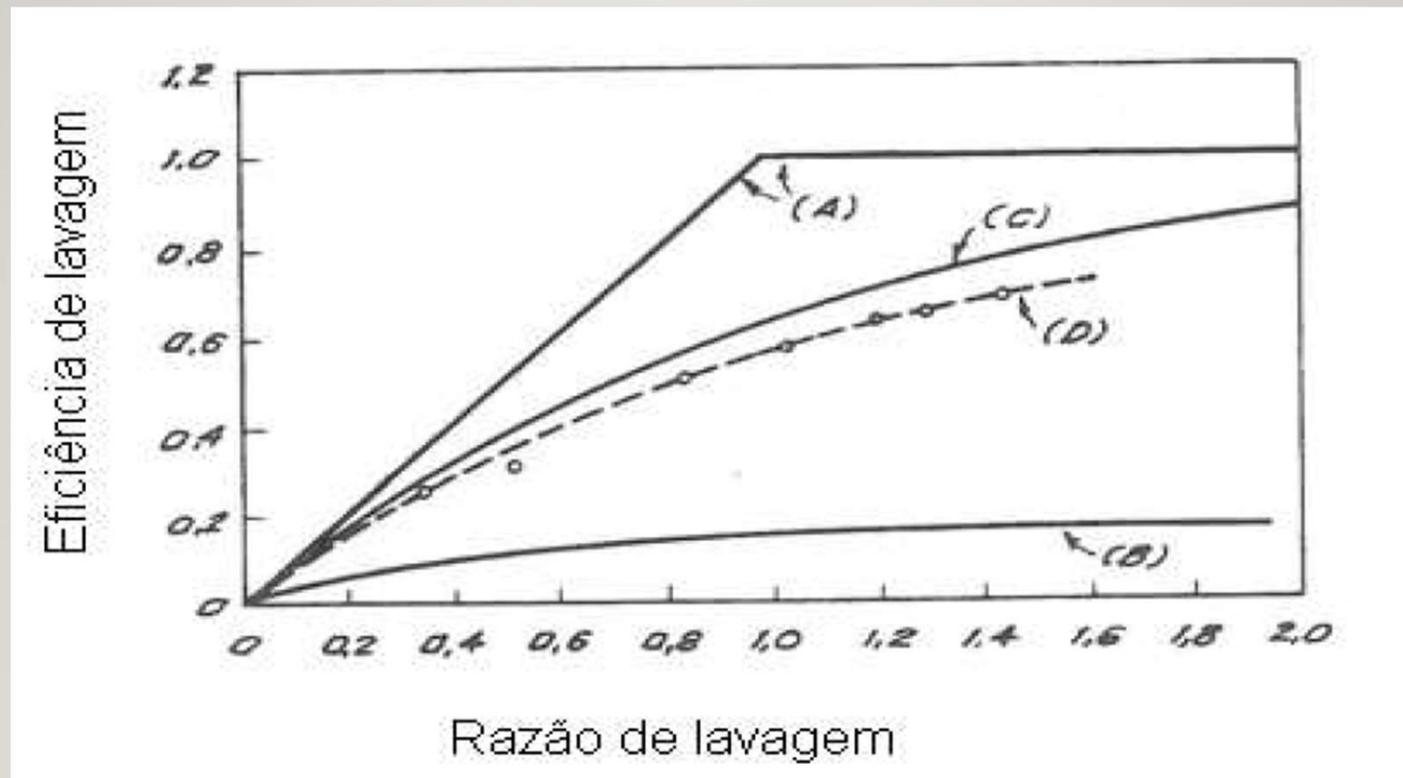
Definição: é a razão entre o ar retido no cilindro e a capacidade em ar ideal do cilindro.

Razão de lavagem

$$\eta_{lav} = \dot{m}_{ar} / [r/(r-1)] V_D z N \rho_{ad}$$

$$R_{lav} = (\dot{m}_{ar})_{sup} / [r/(r-1)] V_D z N \rho_{ad}$$

EFEITO DA RAZÃO DE LAVAGEM SOBRE A EFICIÊNCIA DE LAVAGEM



Curva D é a curva real do motor enquanto A, B e C representam curvas teóricas

ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES

NÍVEIS DE ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES

A especificação de um motor depende do particular tipo de uso

Se o motor trabalha continuamente ela deve ser mais moderada que de um motor que opera durante períodos limitados

Se o motor só é solicitado intensamente durante curto período de tempo pode-se estabelecer uma especificação mais elevada

Um motor de propulsão marítima trabalha continuamente e, via de regra, em condição de plena carga.

Para estes motores são normalmente especificados três níveis de potência

ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES

MOTORES DE PROPULSÃO MARÍTIMA

Potência Normal: É a potência que deve ser desenvolvida normalmente pelo motor para que o navio se desloque na velocidade de serviço, e que deve ser econômica em termos de eficiência térmica do motor e de sua manutenção

Potência Máxima Contínua: É a máxima potência que pode ser desenvolvida contínua e seguramente pelo motor. É a potência nominal da máquina principal e é tomada como base para os cálculos de resistência estrutural no projeto da instalação propulsora

ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES

MOTORES DE PROPULSÃO MARÍTIMA

Potência de Sobrecarga: É a potência superior à máxima contínua que o motor deve ser capaz de desenvolver em um curto período de tempo.

Potência a Ré: É a potência máxima contínua que pode ser desenvolvida pelo motor quando o navio está se deslocando para ré.

ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES

MOTORES DE PROPULSÃO MARÍTIMA

Valores típicos para as relações entre as diversas potências e a potência máxima contínua são:

- **potência normal**: 85 a 90 por cento da potência máxima contínua
- **potência de sobrecarga**: 105 a 110 por cento da potência máxima contínua
- **potência a ré**: 60 por cento da potência máxima contínua

REGIÃO DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR

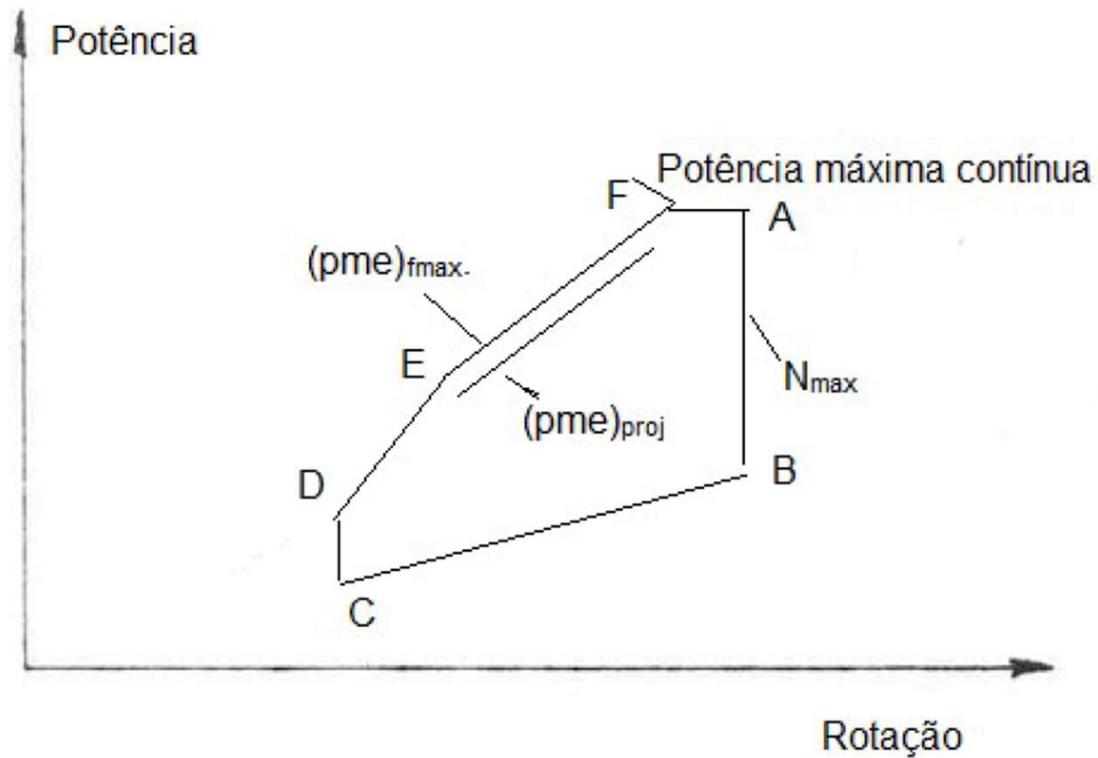
LIMITES DE OPERAÇÃO

São definidos por:

- a) máxima porcentagem possível de combustível que está sendo queimada efetivamente no volume disponível do cilindro.
- b) as tensões nas partes do motor em geral, e em especial as tensões térmicas e mecânicas, que tenham atingido o mais alto nível compatível com a segurança para regime contínuo de operação
- c) a velocidade do pistão e a rotação do eixo que não podem ser elevadas sem comprometer a segurança de operação

Há ainda uma série de outras limitações que dependem do particular motor e de seus componentes

REGIÃO DE OPERAÇÃO



Possíveis Simplificações

Quadrilátero

Duas linhas de $(pme)_f$

- Máxima e mínima

Duas linhas de Rotação constante

- Máxima e mínima