

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

OBJETIVO: Verificar como o sistema propulsor se comporta em condições diferentes das de projeto

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

1. INTRODUÇÃO
2. QUESTÃO ILUSTRATIVA
3. FORMULAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

1. INTRODUÇÃO
2. QUESTÃO ILUSTRATIVA
3. FORMULAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

INTRODUÇÃO

1. Projeto da Instalação propulsora
2. Prova de mar
3. Operação com deslocamento parcial
4. Operação em velocidade reduzida
5. Outras condições

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

Considera-se o deslocamento de projeto do navio

Determina-se a resistência – R_t - para a velocidade de serviço V_s a partir de ensaios com modelo ou por séries sistemáticas

Aplica-se uma margem de resistência para obter o valor de $R_t(V_s)$ em condições média de casco e mar

Selecionam-se os valores adequados do coeficiente de esteira – w – e de aumento de resistência – $1/(1-t)$

A partir desses valores deve-se determinar o conjunto hélice – sistema de transmissão – motor que otimize uma função objetivo (por exemplo, a menor potência requerida)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

A) Seleciona-se o hélice que atenda o requisito de empuxo com a maior eficiência sem apresentar risco de cavitação

Empuxo requerido: $T = (1 + MR) R_t(V_s) / (1-t)$

Para efetuar a seleção de um hélice por série sistemática, divide-se os membros da expressão acima por $(\rho N^2 D^4)$

Obtém-se assim a expressão $K_T(\text{hélice}) = K_T(\text{casco})$

O primeiro membro é chamado simplesmente de K_T

O segundo pode ser expresso por

$$K_T(\text{casco}) = (1 + MR) R_t(V_s) / (1-t) / (\rho N^2 D^4)$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

A equação $K_T(\text{casco}) = (1 + MR) R_t(V_s) / (1-t) / (\rho N^2 D^4)$ é resolvida graficamente nos diagramas de série sistemática

Para tanto são feitas as seguintes substituições:

$$D = D_{\max}$$
$$N = V_s(1-w) / (J D_{\max})$$

Resulta então:

$$K_T(\text{casco}) = (1 + MR) R_t(V_s) / [(1-t) \rho V_s^2 (1-w)^2 D_{\max}^2] J^2 = \alpha J^2$$

Fixados o número de pás e a razão de área expandida do hélice, entra-se em um diagrama de série sistemática que tem as curvas de K_T para diferentes razões passo-diâmetro do hélice e plota-se a curva $K_T(\text{casco}) = \alpha J^2$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

Na intersecção da curva de $K_T(\text{casco})$ com a curva de K_T para um particular valor de p/D obtém-se o ponto de projeto do hélice (veja Figura 1)

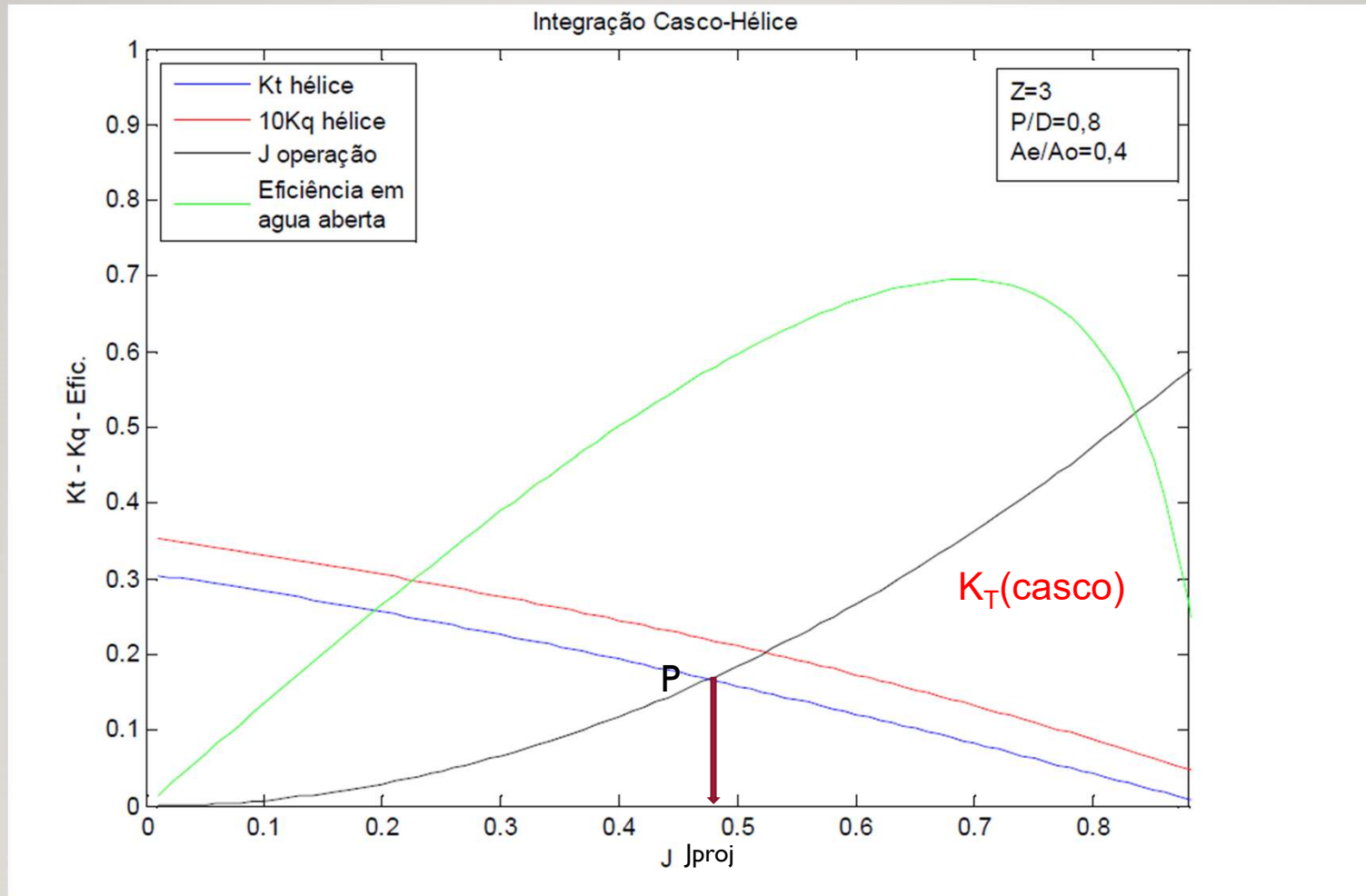
Determina-se, então, J_{proj} a partir do qual se obtém a eficiência do hélice em água aberta η_{p0}

Obtém-se também o valor da rotação de projeto N_{proj}

$$N_{\text{proj}} = V_s(1-w) / (J_{\text{proj}} D_{\text{max}})$$

Variando-se o valor de p/D , bem como a razão de área expandida e o número de pás pode-se seleccionar a configuração do hélice de maior eficiência

FIGURA 1
Determinação
do ponto de
projeto



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PROJETO DA INSTALAÇÃO PROPULSORA

B) Seleção do motor

Procura-se o motor que atenda os requisitos de potência e rotação do hélice de modo a otimizar uma função objetivo (por exemplo: motor de menor custo e de menos consumo específico de combustível) o

- Instalações Diesel direta:

$$N_m = N_{proj}$$

$$(Pot)_m = (Pot)_{req}$$

em que

$$(Pot)_{req} = (Pot)_{efet} / C_p$$

e

$$C_p = (c_{ich}) e_t e_{rr} \eta_{p0}$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

OUTRAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

1. Prova de mar

Pode-se determinar o valor da rotação e da potência para atingir a velocidade de serviço em prova de mar construindo uma curva de $K_T(\text{casco})$ apropriada para esta condição

2. Operação com deslocamento parcial

Adotando uma formulação de variação de resistência em função do deslocamento aplica-se o mesmo procedimento, construindo uma curva de $K_T(\text{casco})$ apropriada para esta condição

3. Operação em velocidade reduzida

Idem para esta condição

4. Envelhecimento do navio

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

QUESTÃO ILUSTRATIVA

Uma empresa de navegação efetuou a substituição da instalação propulsora de um de seus navios graneleiros depois de 12 anos de vida. Em lugar do motor original, de potência normal 18.000 kW à rotação de 100 rpm, foi selecionado um motor com potência normal 17.500 kW à rotação de 90 rpm.

Este motor permite a utilização de um hélice, semelhante ao anterior, porém com diâmetro 5,5% maior, o que proporciona uma maior eficiência do propulsor.

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

QUESTÃO ILUSTRATIVA

Na prova de mar efetuada depois da reforma, o navio atingiu a velocidade de serviço, 16 nós, com o motor fornecendo 16.400 kW a 88 rpm

Como a potência consumida na prova de mar, para manter a velocidade V_s , foi considerada alta, o armador consultou um escritório de projeto para analisar estes dados

O engenheiro responsável pela análise explicou que a potência relativamente alta requerida na prova de mar era consequência do acréscimo de resistência do casco, devida ao aumento da rugosidade das chapas ao longo do tempo

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

QUESTÃO ILUSTRATIVA

Assim, mesmo depois de docado e limpo, o navio apresenta um aumento de resistência, devido ao aumento de rugosidade, dado por:

$$\Delta R_T / R_T = \alpha_1 n$$

onde n é o número de anos

- a) Apresentar um procedimento, empregando o diagrama de série sistemática de hélice, para determinar o valor de α_1
- b) Desenvolver um procedimento, empregando gráficos com variáveis dimensionais, para determinar o valor de α_1
- c) Empregando o procedimento desenvolvido, mostrar como se determina a velocidade que o navio atingirá em condições médias de casco e mar?

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE PRELIMINAR

Navios graneleiros, assim como os petroleiros, têm carga de alta densidade e operam com baixas velocidades, em torno de 15 a 16 nós

Utilizam, normalmente, motores Diesel de baixa rotação, e os cilindros têm curso super longo – alta relação L/D

Uma reforma de grande porte em sua instalação propulsora deve estar associada à busca de melhor desempenho técnico- econômico da instalação.

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE PRELIMINAR

Navios graneleiros têm, em geral, grande calado e, devido à baixa velocidade, resistência ao avanço relativamente pequena

Com emprego de hélice de grande diâmetro (máximo possível) é possível obter eficiência alta do propulsor

O emprego destes hélices fica condicionado à disponibilidade de motores que possam operar na rotação requerida pelo hélice

Se não há um motor que atenda à demanda de rotação é necessário rever o projeto do hélice

As indústrias de motores marítimos têm reduzido a rotação de projeto dos motores com o objetivo de atender a demanda de rotação dos hélices

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE PRELIMINAR

Percepção de substituir a máquina principal por outra que, permita o uso de hélice de maior diâmetro e, portanto, de maior eficiência

Possibilidade de reduzir o consumo de combustível e uma redução despesas de combustível.

A aquisição de um novo sistema propulsor representa um custo significativo

A decisão deve ter sido apoiada em uma análise de viabilidade econômica

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE PRELIMINAR

Avaliação da escolha

Instalação original:

Hélice com diâmetro D

Motor com potência normal 18.000 kW a 100 rpm

Nova instalação:

Hélice com diâmetro $1,055 D$

Motor com potência normal 17.500 kW a 90 rpm

Admitindo que a curva de resistência do casco corresponde à curva do casco novo, a curva parece correta

Com maior diâmetro do hélice, consegue-se maior eficiência do hélice e, com isto, apesar de uma redução de cich, há redução de 3 % na potência requerida

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE PRELIMINAR

Avaliação da escolha

Nova instalação:

Hélice com diâmetro 1,055 D

Motor com potência normal 17.500 kW a 90 rpm

Mas o que acontece se existe aumento da resistência devido ao aumento da rugosidade com o tempo?

Como a nova instalação propulsora responde à nova curva?

A potência instalada vai permitir que o navio se desloque à velocidade de serviço?

O resultado da prova de mar mostra que provavelmente em condições médias de casco e mar o navio não alcançará a velocidade V_s

Afinal, em prova de mar, o motor precisou fornecer 16.400 kW a 88 rpm, ou seja 94 % da Potência normal a 98 % da rotação de projeto

QUESTÃO ILUSTRATIVA

RESOLUÇÃO DO ITEM A

Para a análise deste item, considere-se o valor do coeficiente de avanço para a prova de mar realizada após a reforma, $((J)_{PM})_{12}$:

$$((J)_{PM})_{12} = 16 (1-w) / (88 \times 1,055D)$$

Como todos os termos do 2º membro são conhecidos, o valor de $((J)_{PM})_{12}$ está determinado

Observar que mesmo que se considere alteração do coeficiente de esteira, w , por efeito do aumento de rugosidade do casco, há meios de se estimar o novo valor

QUESTÃO ILUSTRATIVA

RESOLUÇÃO DO ITEM A

A partir de $((J)_{PM})_{12}$, pode-se obter no diagrama do hélice correspondente o valor de K_T para esta condição - $(K_T(16)_{PM})_{12}$

E, a partir de $(K_T(16)_{PM})_{12}$ obtém-se o valor do empuxo do hélice:

$$(T(16)_{PM})_{12} = \rho (88)^2 (1,055D)^4 (K_T(16)_{PM})_{12}$$

Pode-se calcular então: $(R_T(16)_{PM})_{12}$

$$(R_T(16)_{PM})_{12} = (T(16)_{PM})_{12} (1-t)$$

QUESTÃO ILUSTRATIVA

RESOLUÇÃO DO ITEM A

Para calcular a variação de resistência é preciso usar o valor da resistência para a velocidade de 16 nós, na prova de mar, para o casco novo

$$(R_T(16)_{PM})_{\text{casco novo}}$$

Mas este valor é conhecido, pois ele foi usado no projeto da instalação propulsora (assinalado na expressão abaixo)

$$K_T(\text{casco}) = (1 + MR) R_t(\mathbf{V}_s) / (1-t) / (\rho N^2 (1,055D)^4)$$

Assim, pode-se calcular ΔR_T

$$\Delta R_T = (R_T(16)_{PM})_{12} - (R_T(16)_{PM})_{\text{casco novo}}$$

Então obtém-se

$$\alpha_1 = [\Delta R_T / (R_T(16)_{PM})_{\text{casco novo}}] / 12$$

QUESTÃO ILUSTRATIVA

ITEM B - DESENVOLVER UM PROCEDIMENTO

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A resposta no item a baseou-se no emprego do diagrama de série sistemática para o hélice da instalação nova

O uso desse diagrama é compreensível na fase de projeto, porém não na fase de análise de desempenho

O uso de variáveis adimensionais dificulta a compreensão dos fenômenos

USO DE VARIÁVEIS DIMENSIONAIS

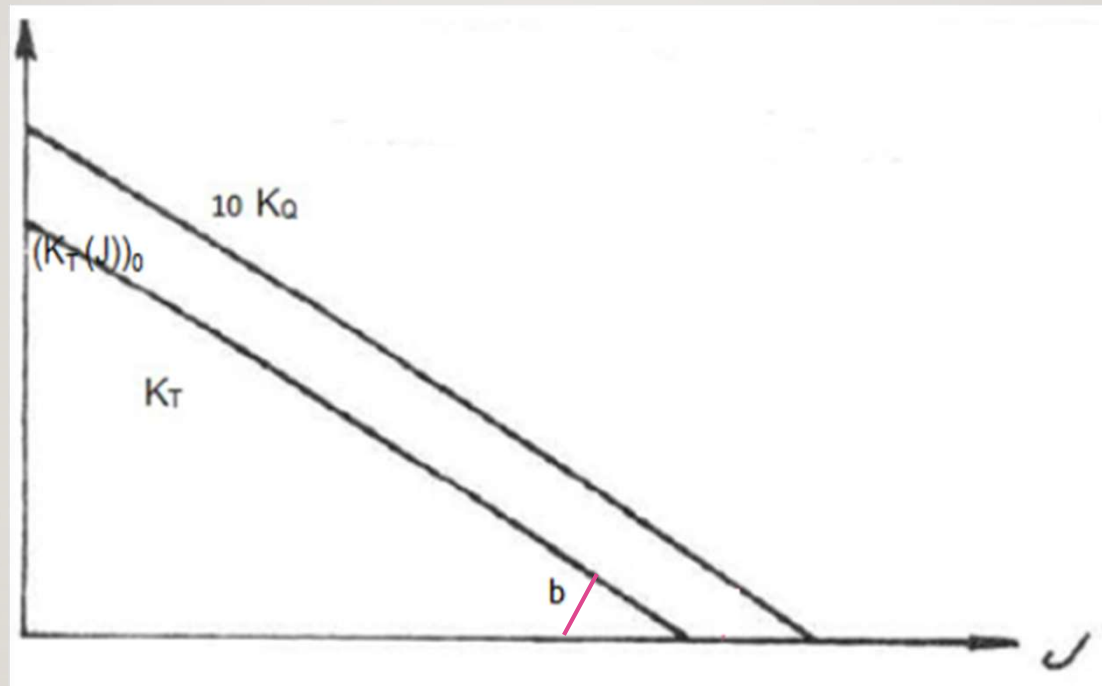
As curvas do casco são dimensionais $R_T(V)$ - Força(velocidade)

As curvas do motor (região de operação são dimensionais:
Potência(rotação)

DEVE-SE PRODUZIR CURVAS DO HÉLICE NA FORMA DIMENSIONAL

DIMENSIONALIZAÇÃO DO DIAGRAMA DO HÉLICE

CURVAS
ADIMENSIONAIS
DO HÉLICE
 $K_T(J)$, $10 K_Q(J)$



DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_T (J)$

HIPÓTESE:

$$K_T (J) = (K_T (J))_0 - b J$$

em que:

$$K_T (J) = T / \rho N^2 D^4 = T / C_1 (N)$$

$$J = V_a / N D = V_a / C_2 (N) D$$

onde

$$C_1 (N) = \rho N^2 D^4$$

$$C_2 (N) = N D$$

DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_T (J)$

REPRESENTAÇÃO DO EMPUXO DO HÉLICE

$$T = C_1 (N) K_T (J)$$

$$T = C_1 (N) [(K_T (J))_0 - b Va / C_2 (N)]$$

Em particular, para $N = N_1$ tem-se:

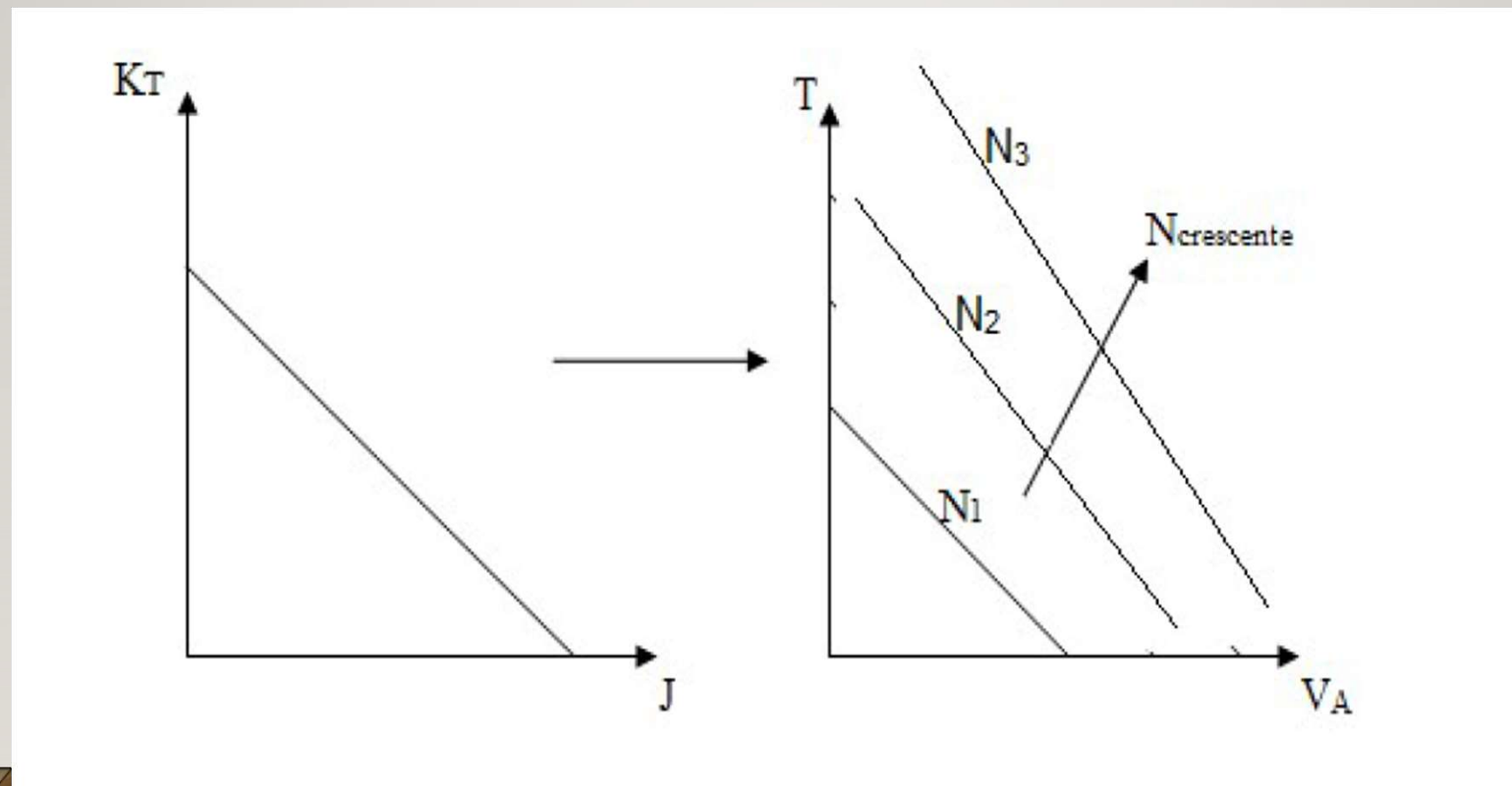
$$T = T_0(N_1) - b'(N_1) Va$$

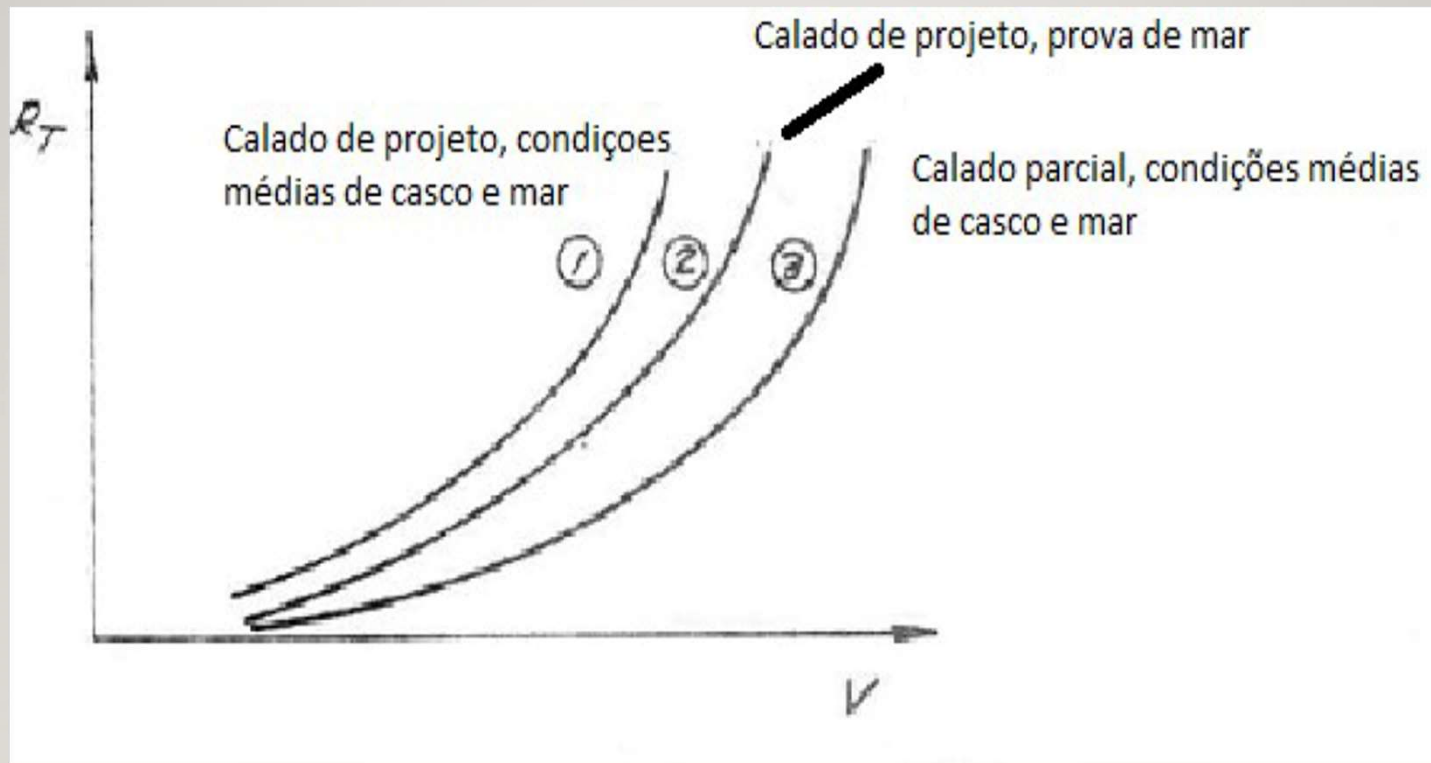
em que

$$T_0(N_1) = C_1 (N_1) (K_T (J))_0$$

$$b'(N_1) = C_1(N_1) b / C_2 (N_1)$$

DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_T(J)$



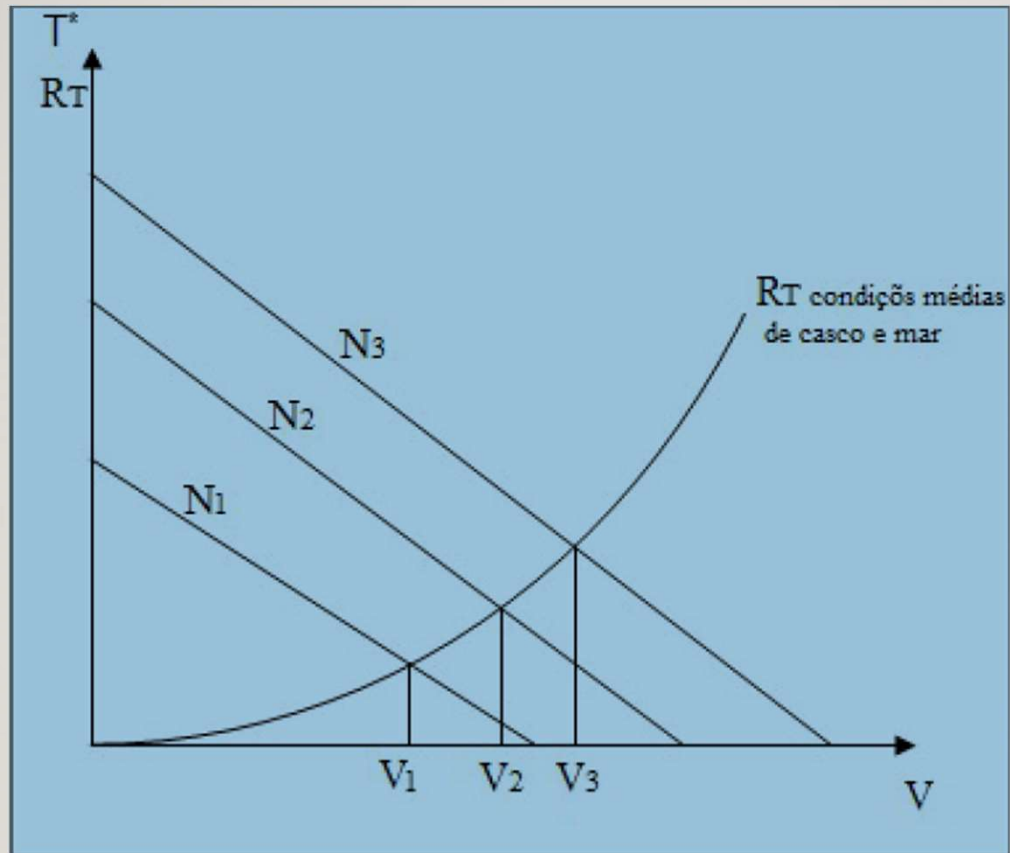


INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

Mudança de escala

$$T^* = t(1-t)$$

$$V = V_a / (1-w)$$



DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_Q(J)$

HIPÓTESE:

$$K_Q(J) = (K_Q(J))_0 - d J$$

em que:

$$K_Q(J) = Q / \rho N^2 D^5 = Q / C_3(N)$$

$$J = V_a / N D = V_a / C_2(N) D$$

onde

$$C_3(N) = \rho N^2 D^5$$

$$C_2(N) = N D$$

DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_Q(J)$

REPRESENTAÇÃO DO TORQUE DO HÉLICE

$$Q = C_3(N) K_T(J)$$

$$Q = C_3(N) [(K_Q(J))_0 - b Va / C_2(N)]$$

Em particular, para $N = N_1$ tem-se:

$$Q = Q_0(N_1) - d'(N_1) Va$$

em que

$$Q_0(N_1) = C_3(N_1) (K_Q(J))_0$$

$$d'(N_1) = C_3(N_1) d / C_2(N_1)$$