

PNV3416 INSTALAÇÕES PROPULSORAS 2022

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA
PROPULSOR

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE MOTORES

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

1. REVISÃO
2. PROCEDIMENTO
3. APLICAÇÃO À QUESTÃO ILUSTRATIVA

PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE MOTORES

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

1. REVISÃO
2. PROCEDIMENTO
3. APLICAÇÃO À QUESTÃO ILUSTRATIVA

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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

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 (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 (casco) apropriada para esta condição

3. Operação em velocidade reduzida

Idem para esta condição

4. Envelhecimento do navio

Idem para esta condição

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.

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.

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

QUESTÃO ILUSTRATIVA

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. Assim, mesmo depois de docado e limpo, o navio apresenta um aumento de resistência, devido ao aumento de rugosidade, dado por: $\Delta R_T / R_T = \alpha_1 \times n$ 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?

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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 escolha 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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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)

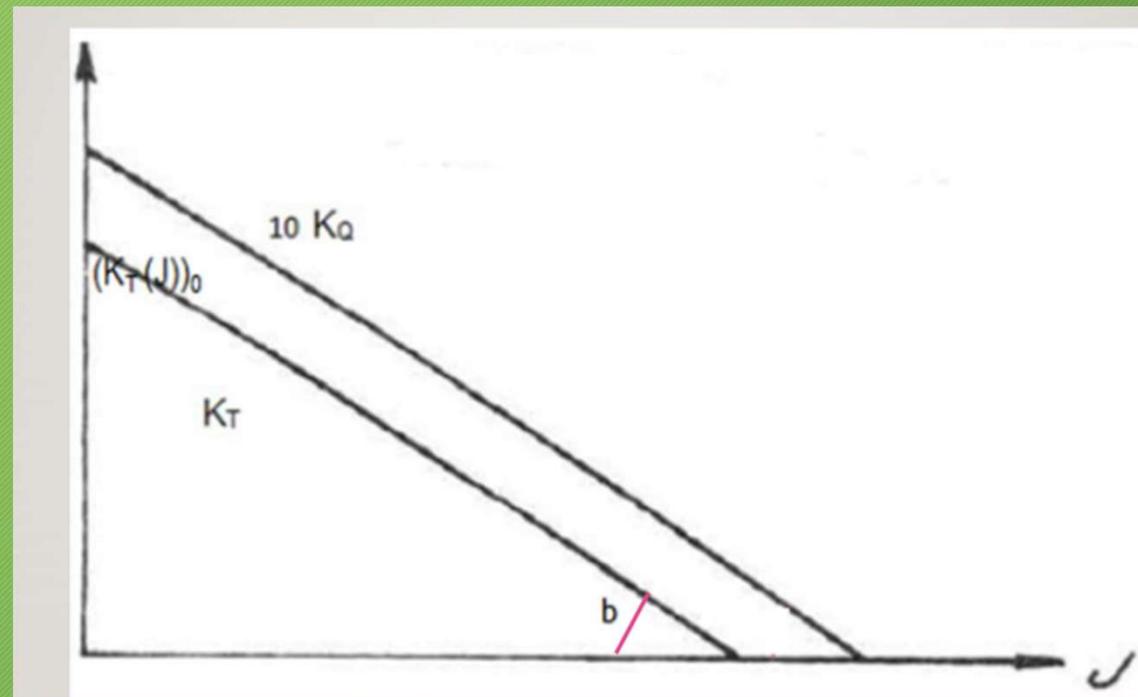
As curvas do motor (região de operação são dimensionais: Potência(rotação)

DEVE-SE PRODUZIR CURVAS DO HÉLICE NA FORMA DIMENSIONAL

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DIMENSIONALIZAÇÃO DO DIAGRAMA DO HÉLICE

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



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DIMENSIONALIZAÇÃO DO DIAGRAMA DO HÉLICE

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

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

$$C_2 (N) = N D$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DIMENSIONALIZAÇÃO DO DIAGRAMA DO HÉLICE

REPRESENTAÇÃO DO EMPUXO DO HÉLICE

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

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

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

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

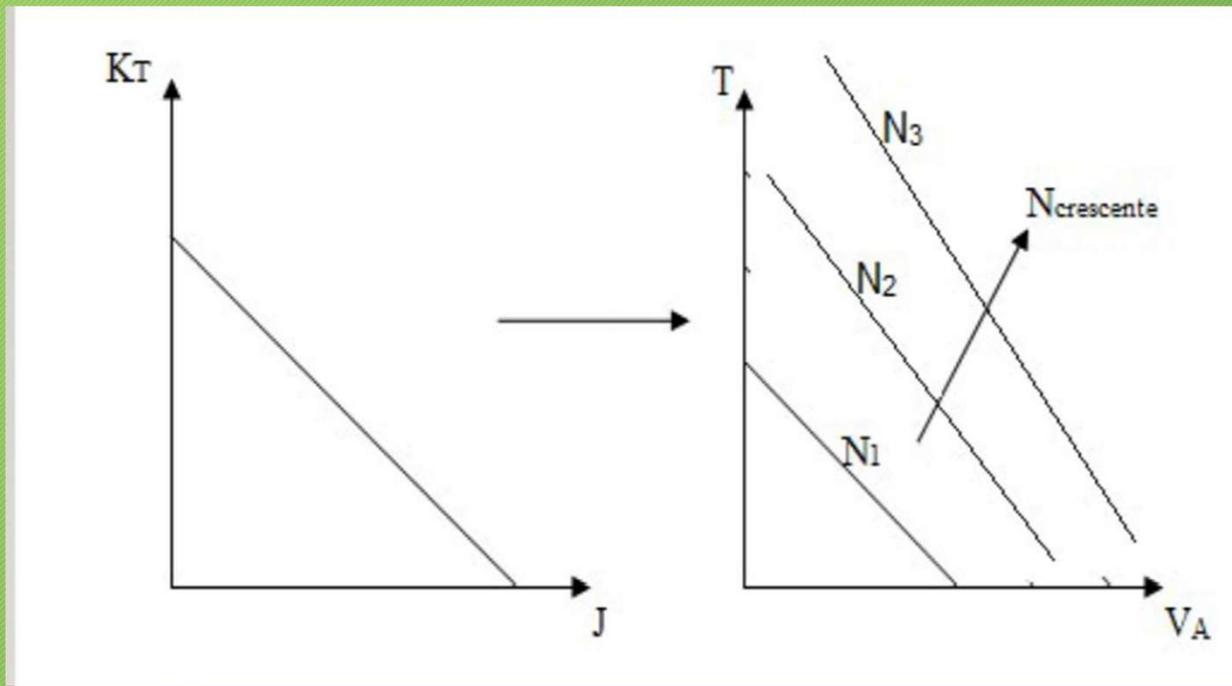
em que

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

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA K_T (J)



Assim, para uma dada geometria de hélice: número de pás, A_E/A_0) e P/D

Obtém-se curvas de empuxo versus velocidade de avanço para diferentes velocidades

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

COMENTÁRIOS SOBRE A INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE

1. A integração casco - hélice é efetuada para regime permanente, isto é, para velocidade constante

$$F = M \, dV / dt$$

em que

$$F = T - R_T / (1-t)$$

Então, para

$$dV / dt = 0$$

vem

$$T = R_T / (1-t)$$

Como empregam-se, como referência as curvas de resistência do casco, deve-se utilizar

$$T (1-t) = R_T$$

2. Assim as curvas $T(V_a)_{N=CTE}$ devem ser multiplicadas por $(1 - t)$

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

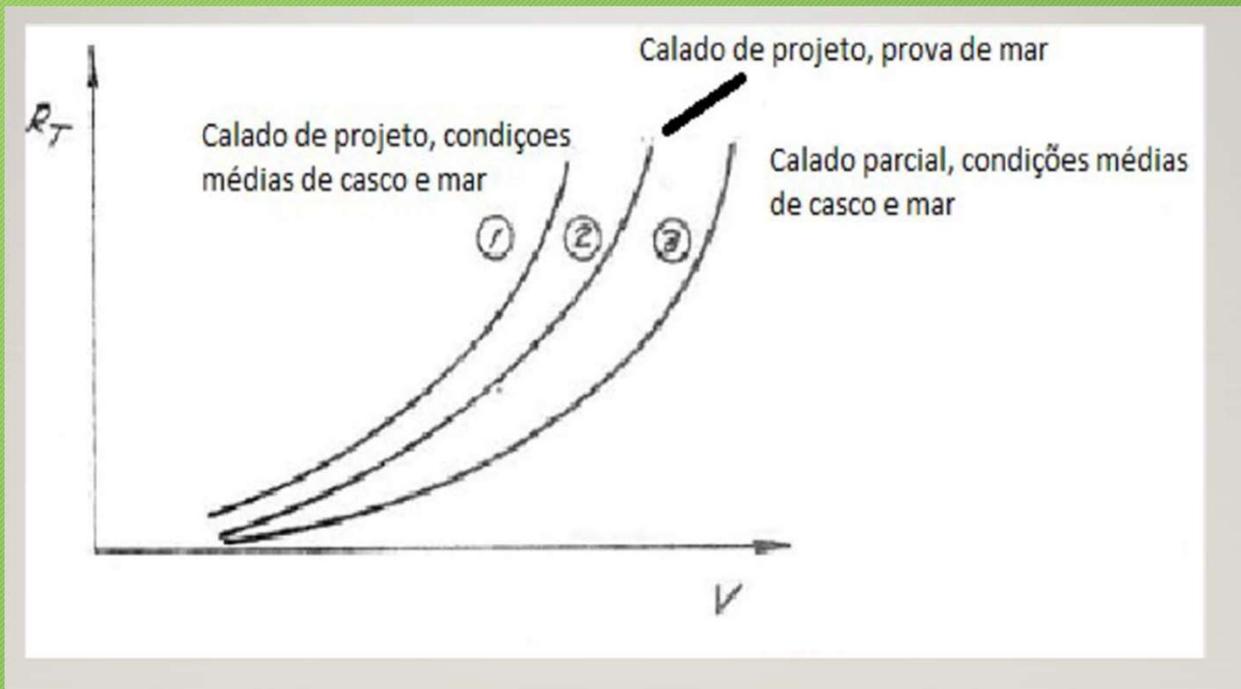
COMENTÁRIOS SOBRE A INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE

1. As curvas de Resistência do casco são plotadas em função da velocidade do navio
 2. As curvas de empuxo do hélice são plotadas em função da velocidade de avanço
 3. Assim, é preciso fazer outra transformação de variável para utilizar o mesmo gráfico
 4. Multiplica-se V_a por $1 / (1 - w)$
- Isto é:

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PREPARAÇÃO PARA INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE



OBSERVAÇÕES:

1. A curva de resistência do casco é plotada em função da velocidade do navio
2. Para condições de velocidade constante:

$$R_T = T (1 - t)$$

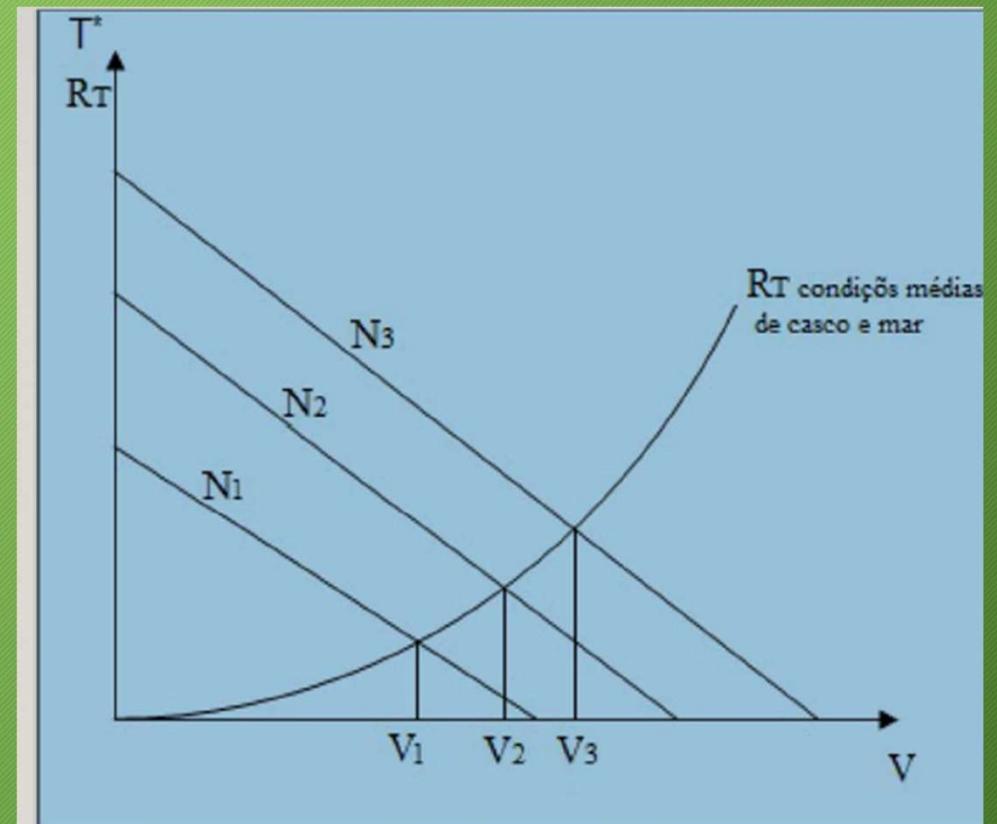
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE

Mudança de escala

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

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



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PREPARAÇÃO PARA A INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE - MOTOR

1. DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA K_Q (J)
2. INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE
3. INTEGRAÇÃO HÉLICE - MOTOR

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

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

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

$$C_2 (N) = N D$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DIMENSIONALIZAÇÃO DA CURVA $K_Q (J)$

REPRESENTAÇÃO DO TORQUE DO HÉLICE

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

$$Q = C_3 (N) [(K_Q (J))_0 - d V_a / C_2 (N)]$$

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

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

em que

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

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DA POTÊNCIA ABSORVIDA PELO HÉLICE EM
ÁGUA ABERTA – PAH_{AA}

$$PAH_{AA} = 2 \pi Q N$$

Mas

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

Portanto:

$$PAH_{AA} = 2 \pi N C_3 (N) [K_Q (J)_0 - b V_a / C_2 (N)]$$

para $N = N_1$ tem-se:

$$PAH_{AA}(N_1) = (PAH)_{AA0}(N_1) - d''(N_1) V_a$$

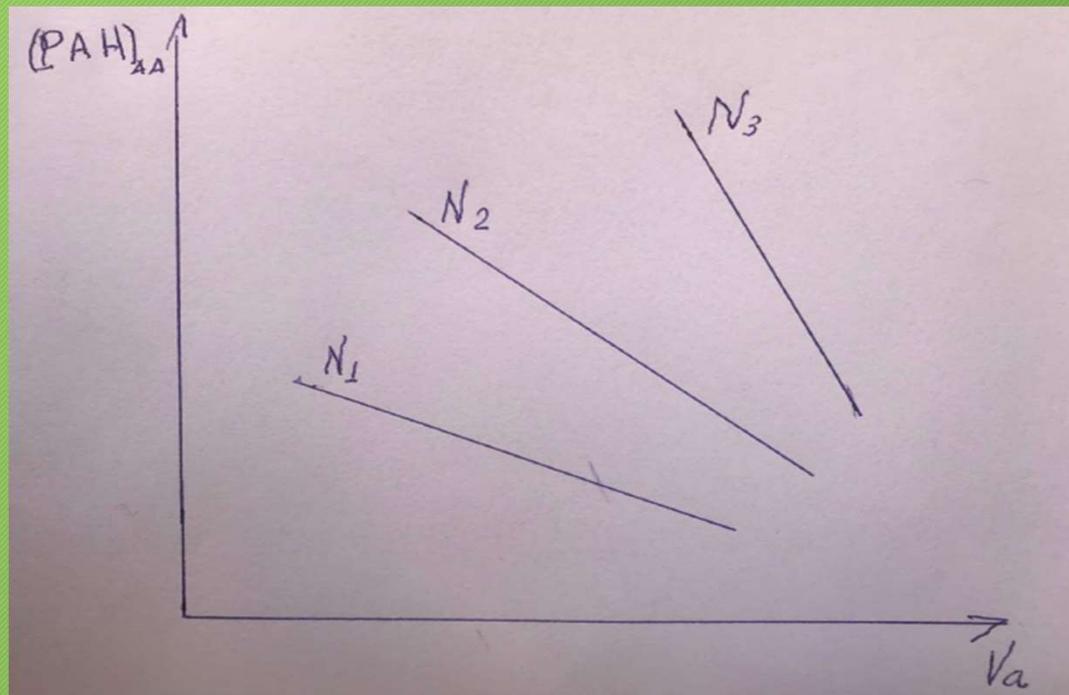
em que

$$(PAH)_{AA0}(N_1) = 2\pi N_1 C_3(N_1) K_Q (J)_0$$

$$d''(N_1) = 2\pi N_1 C_3(N_1) d / C_2(N_1)$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DA POTÊNCIA ABSORVIDA PELO HÉLICE EM ÁGUA ABERTA – PAH_{AA}



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

COMENTÁRIOS SOBRE A INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

1. As curvas de Resistência do casco são plotadas em função da velocidade do navio
2. As curvas de potência absorvida pelo hélice em água aberta são plotadas em função da velocidade de avanço
3. Assim, é preciso fazer uma transformação de variável para utilizar o mesmo gráfico
4. Multiplica-se V_a por $1 / (1 - w)$
Isto é:

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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

COMENTÁRIOS SOBRE A INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

Considerando o resultado anterior,

$$Q_m = Q + Q_{at}$$

e multiplicando os 2 lados por $2 \pi N$ vem

$$Pot_m = PAH + Pot_{at}$$

Ou, de outra forma

$$PAH = Pot_m e_t$$

Mas

$$PAH = (PAH)_{AA} / e_{rr}$$

Logo

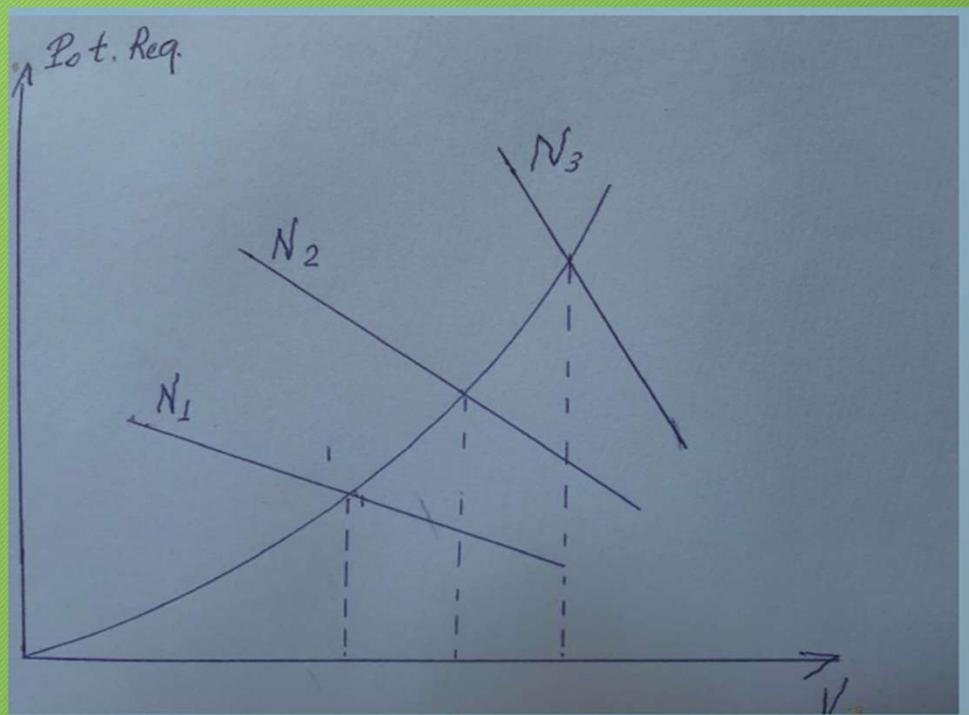
$$(PAH)_{AA} = Pot_m (e_{rr} e_t)$$

Portanto, para colocar em um mesmo gráfico de potência, define-se:

$$Pot Req = (PAH)_{AA} / e_{rr} e_t$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

Representação das curvas de potência requerida em função da velocidade do



FI

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PREPARAÇÃO DO DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO CASCO-HÉLICE – MOTOR

Como os gráficos de força e potência tem como eixo comum a velocidade coloca-se no mesmo digrama os dois gráficos
Para isto efetua-se uma rotação de 180 graus no eixo de forças

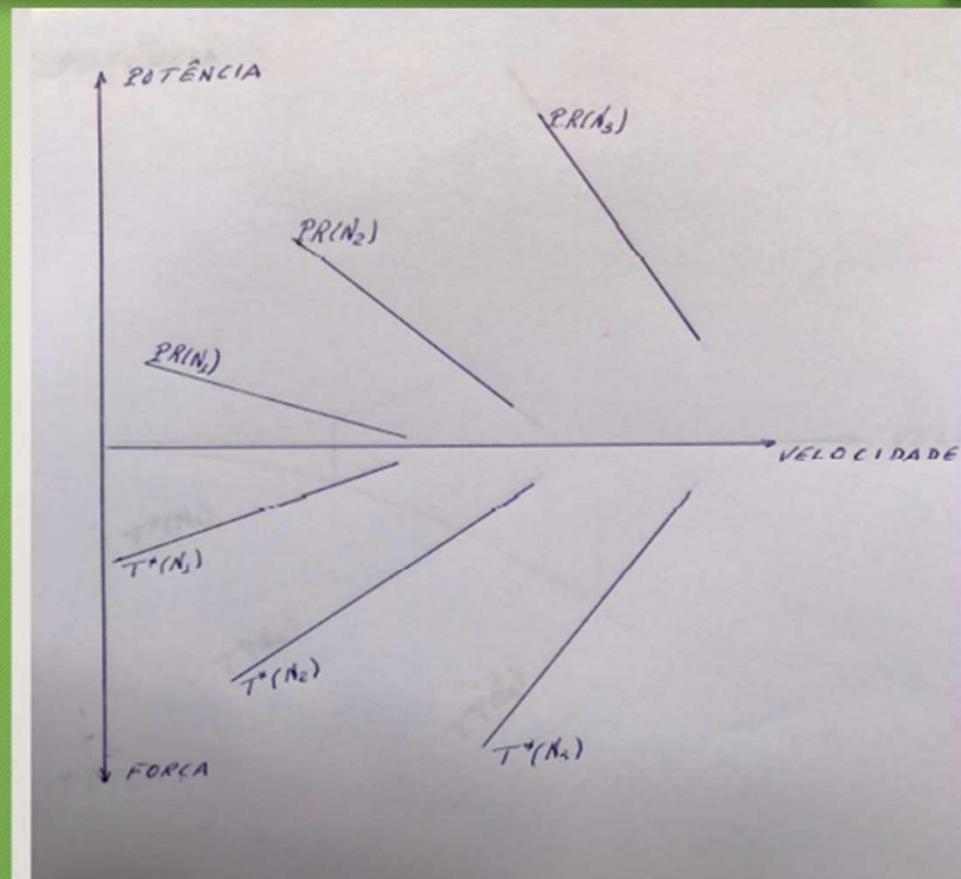
A vantagem desta mudança é que fica mais simples determinar os pontos $B_j = B_j (N_j , V_j)$ a partir dos pontos $A_j = A_j (N_j , V_j)$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

NONO PASSO Diagrama de integração

Curvas do hélice

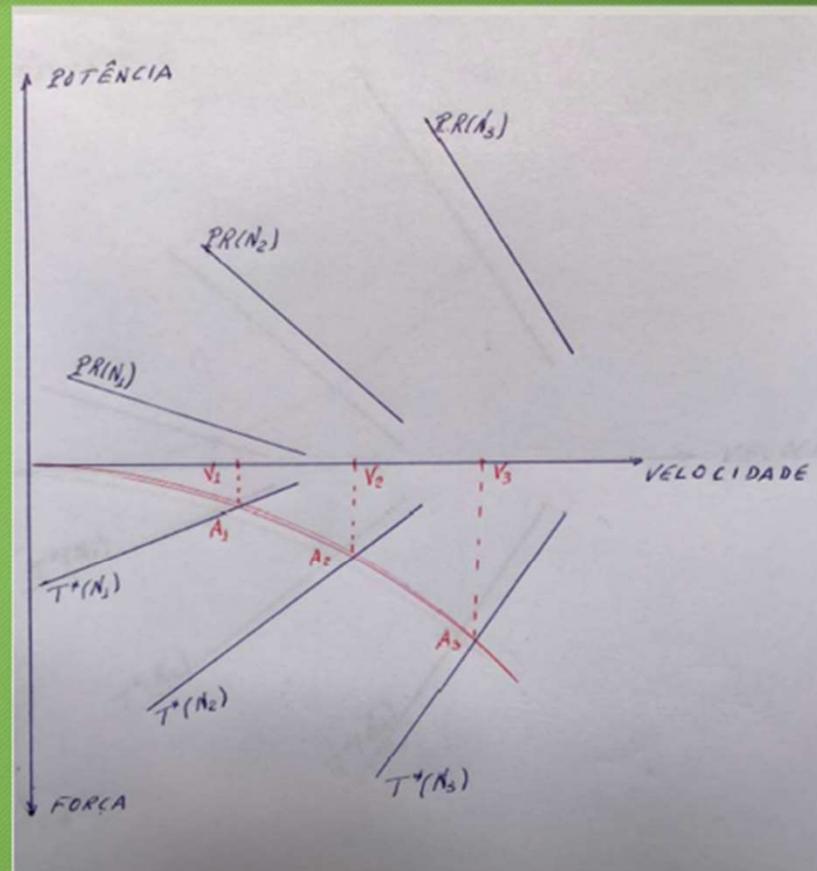
- empuxo líquido - T^*
- potência requerida - PR



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DÉCIMO PASSO Interação casco – hélice

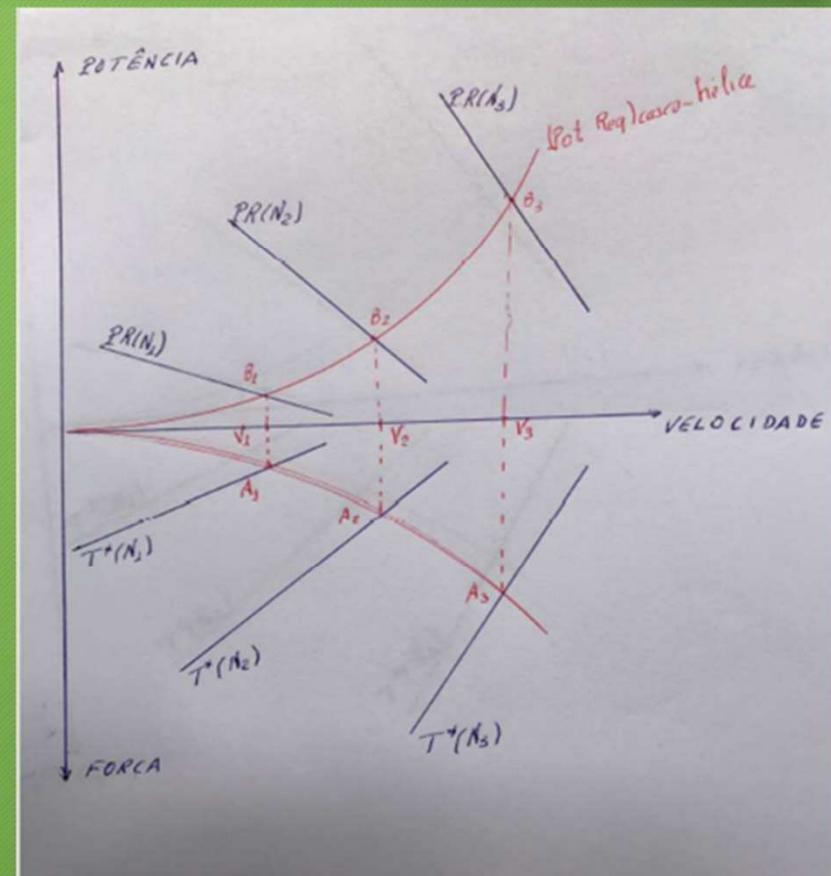
Desenha-se no gráfico de força a curva de resistência do casco
Obtém-se os pontos
 $A_j = A_j(N_j, V_j)$



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DÉCIMO PRIMEIRO PASSO

Marcam-se os pontos $B_j = B_j(N_j, V_j)$ e desenha-se a curva de potência requerida casco - hélice



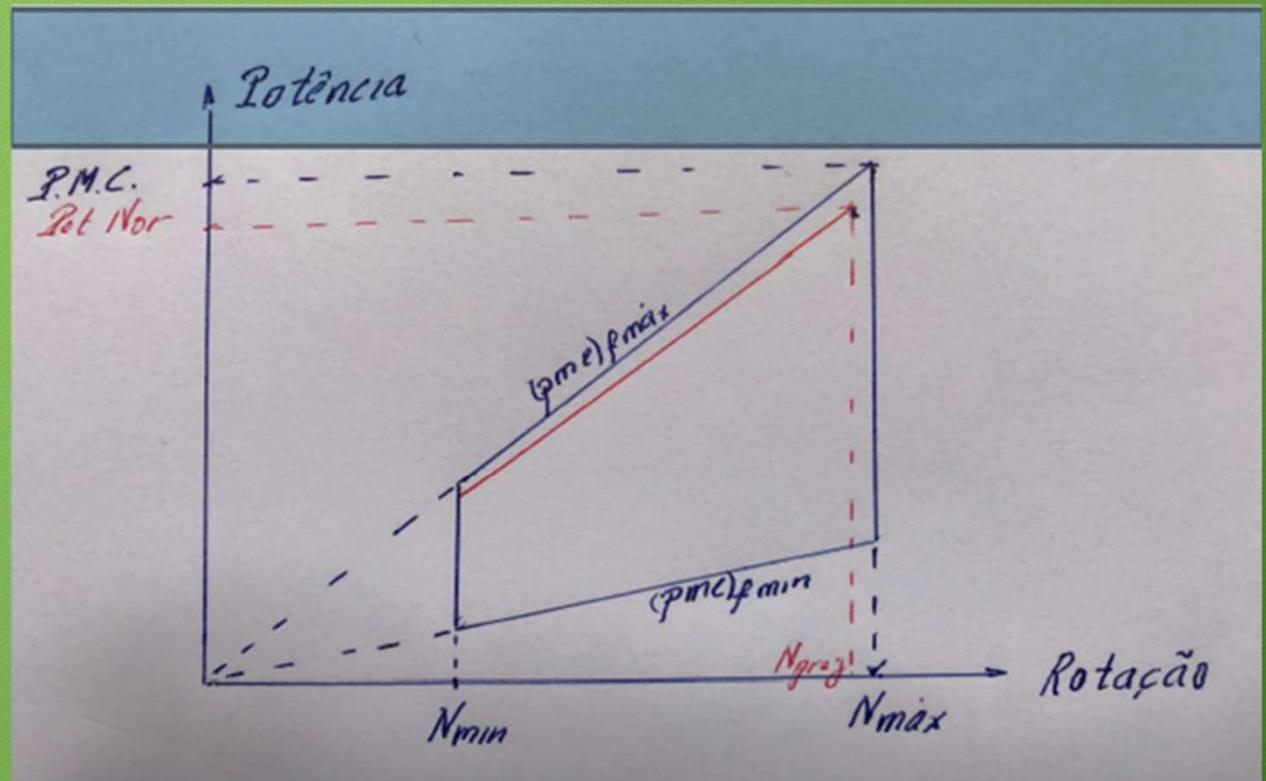
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

1. GRÁFICO DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR
Pode-se representar a região de operação do motor
2. CURVA DE POTÊNCIA REQUERIDA CASCO – HÉLICE
A curva de potência versus velocidade, do diagrama de integração, pode ser convertida numa curva potência versus rotação
3. REPRESENTAÇÃO NUMA MESMA FIGURA

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

GRÁFICO DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR

Região de
operação do motor
Delimitada pelas
curvas de rotação
máxima e mínima e
de pressão média
efetiva no freio
máxima e mínima
Identificação do
ponto de projeto
(Pot Nor e Nproj)

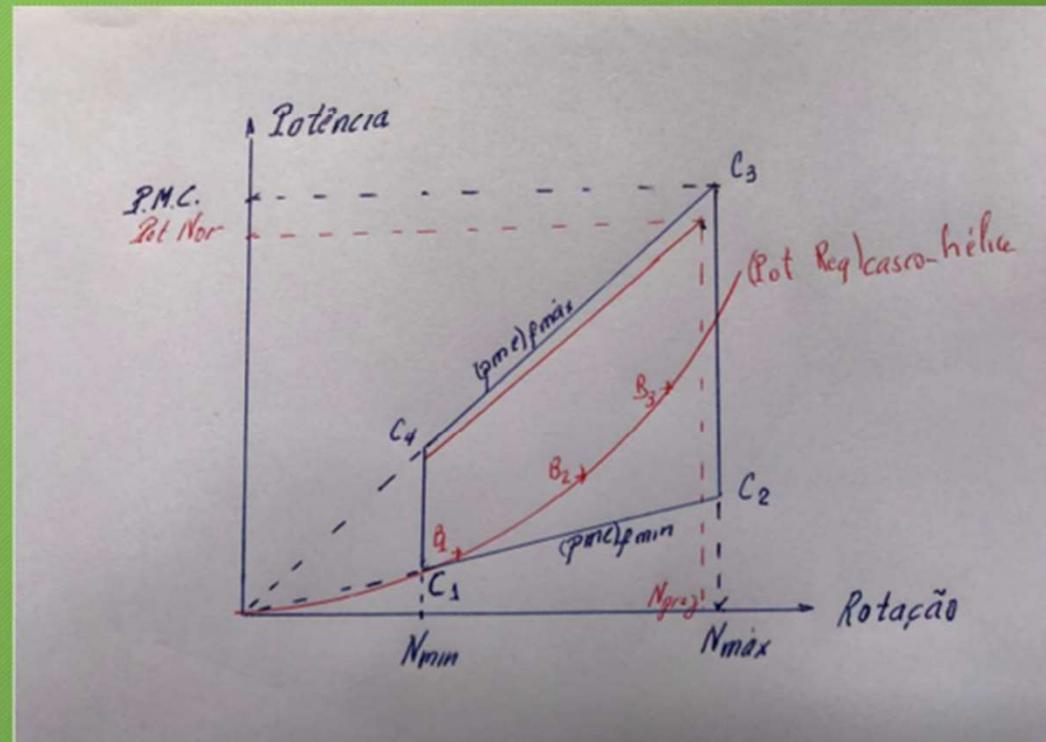


ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO NUMA MESMA FIGURA DAS CURVAS DO MOTOR E DO CASCO - HÉLICE

REGIÃO DE OPERAÇÃO DO MOTOR E CURVA DE POTÊNCIA REQUERIDA CASCO - HÉLICE

Observação: pode-se verificar quais os pontos da curva de potência requerida estão dentro da região de operação do motor



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PREPARAÇÃO PARA A INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE - MOTOR

No slide anterior a curva de potência requerida foi desenhada no gráfico do motor

É possível analisar a integração com o motor neste diagrama

Porém, é mais conveniente representar a região de operação do motor no gráfico de potência do diagrama de integração

Para isto os pontos que limitam a região de operação do motor C_j $j = 1$ a 4 , mostrados no próximo slide, são transferidos para o gráfico

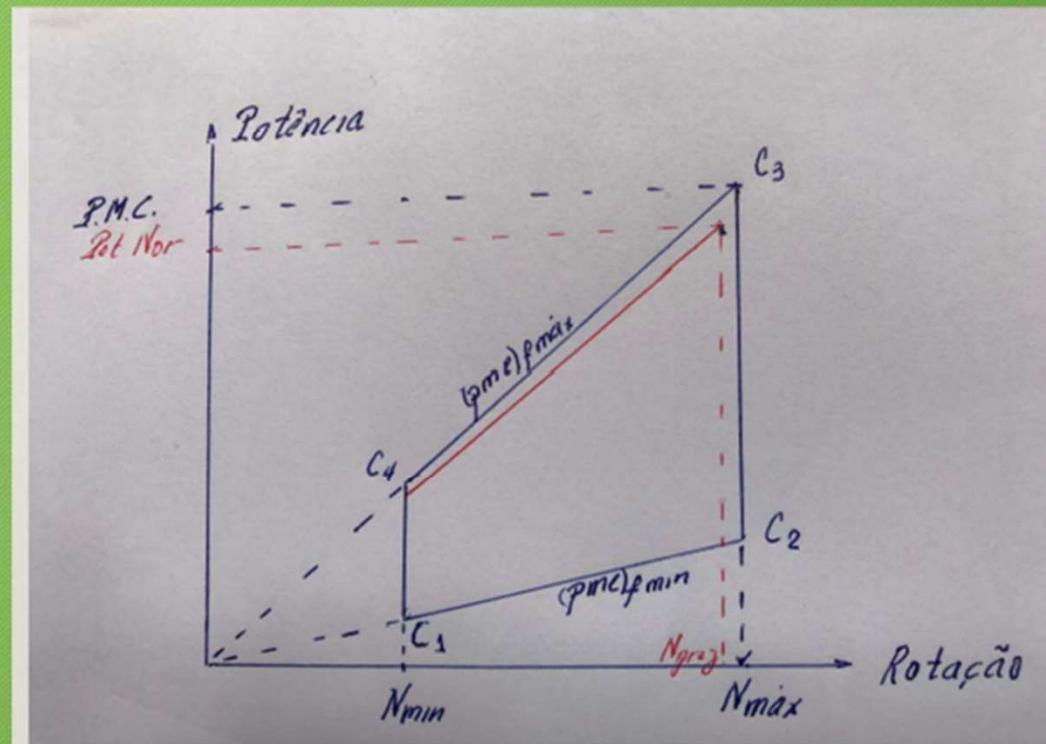
As curvas que unem esses pontos delimitam a região de operação

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

PREPARAÇÃO PARA A INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE - MOTOR

Identificação dos Pontos

- $C_1: (N_{\min}, (pme)_{f\min})$
- $C_2: (N_{\max}, (pme)_{f\min})$
- $C_3: (N_{\max}, (pme)_{f\max})$
- $C_4: (N_{\min}, (pme)_{f\max})$



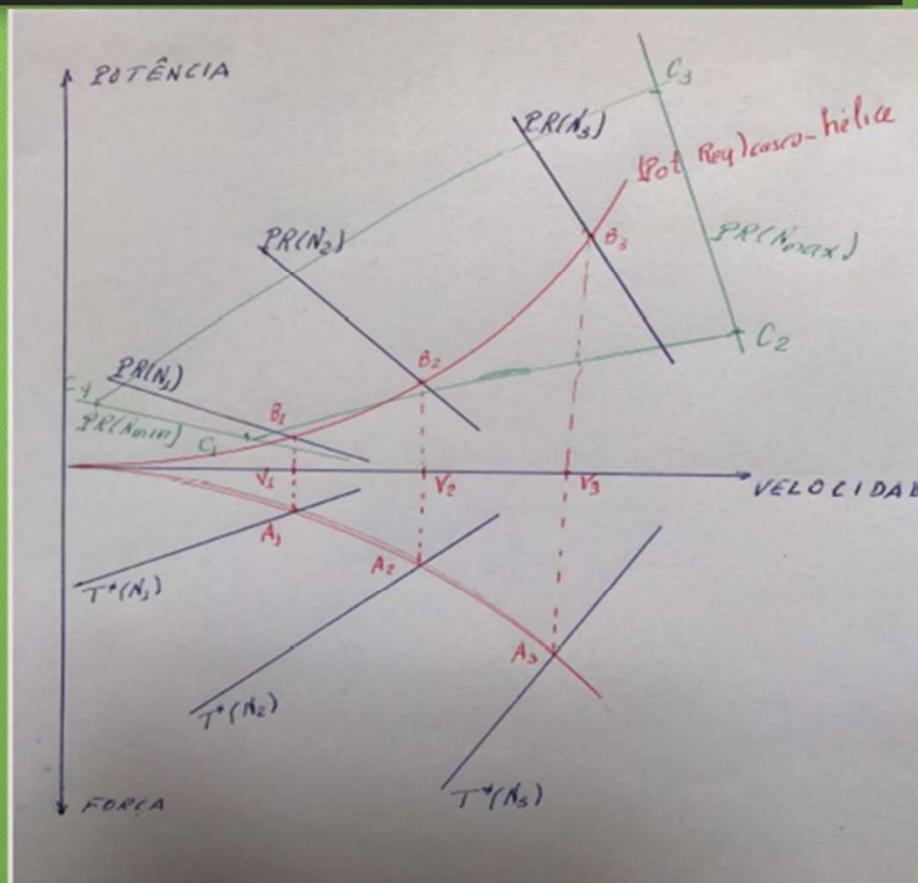
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DÉCIMO SEGUNDO PASSO

Marcam-se os pontos $C_j = C_j(N_j, Pot_j)$ e desenha-se a região de potência do motor

Observação:

A transferência da região de operação feita vale para instalação direta em que motor e hélice têm a mesma rotação



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

1. Desenhar o diagrama de integração
 - com os gráficos de força e potência em função da velocidade
2. Representar o ponto de projeto neste diagrama
 - P: no gráfico de potência $P = P(16 \text{ nós}, 17.500 \text{ kW}, 90 \text{ rpm})$
 - P': no gráfico de força $P = P(16 \text{ nós}, 90 \text{ rpm})$

(Veja Figura 1)

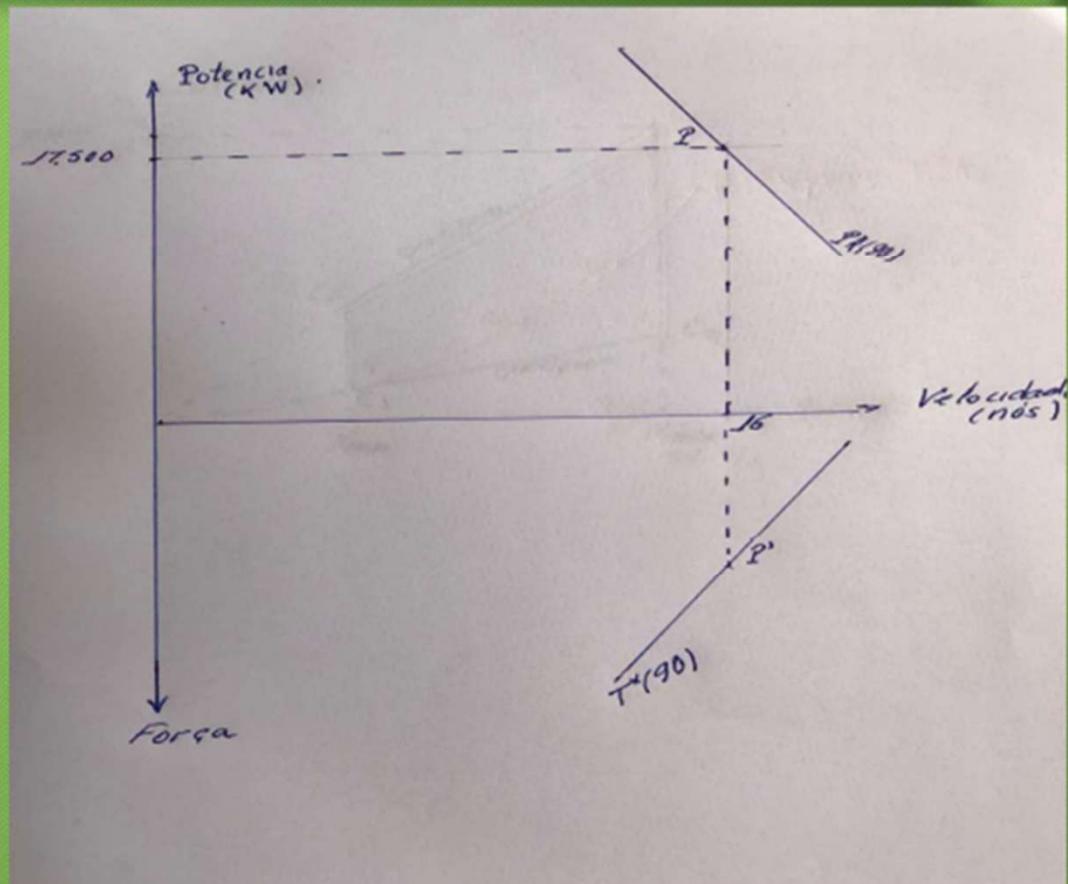
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

Figura 1

Representação do ponto de projeto da nova instalação propulsora

Hipótese: Resistência de casco novo



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

3. Pelo ponto P' passa a curva de resistência para condições médias de casco e mar, admitindo rugosidade de casco novo

4. Pelo ponto P passa a curva de potência requerida casco - hélice para condições médias de casco e mar, admitindo rugosidade de casco novo (Veja Figura 2)

Observação: Foram desenhadas as curvas auxiliares de $T^*(N_1)$ e $PR(N_1)$

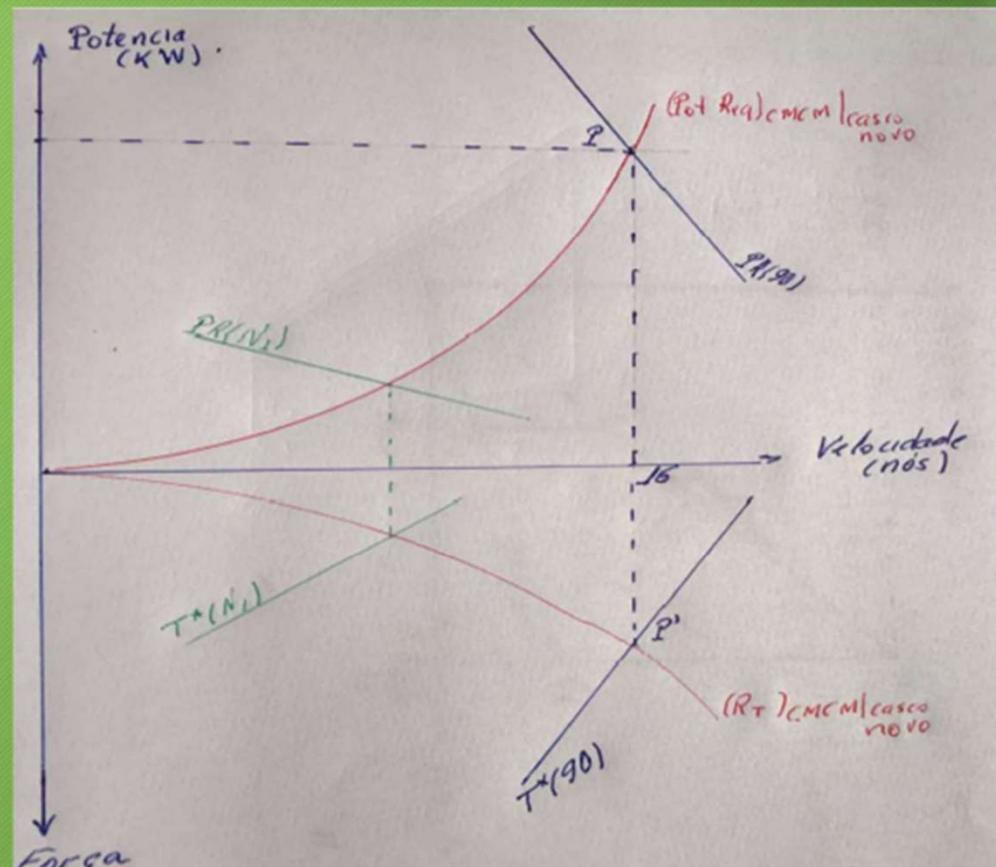
ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

Figura 2

Representação das curvas de projeto

- Resistência do casco
- Potência requerida casco - hélice



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

1. São conhecidas as especificações de projeto do motor

Potência Normal 17.500 kW

Rotação de projeto 90 rpm

2. Adotam-se valores para margem de potência e margem de rotação

$MP = 0,10$

$Mrot = 0,03$

3. Admite-se adicionalmente

$N_{min} = 0,4 N_{max}$

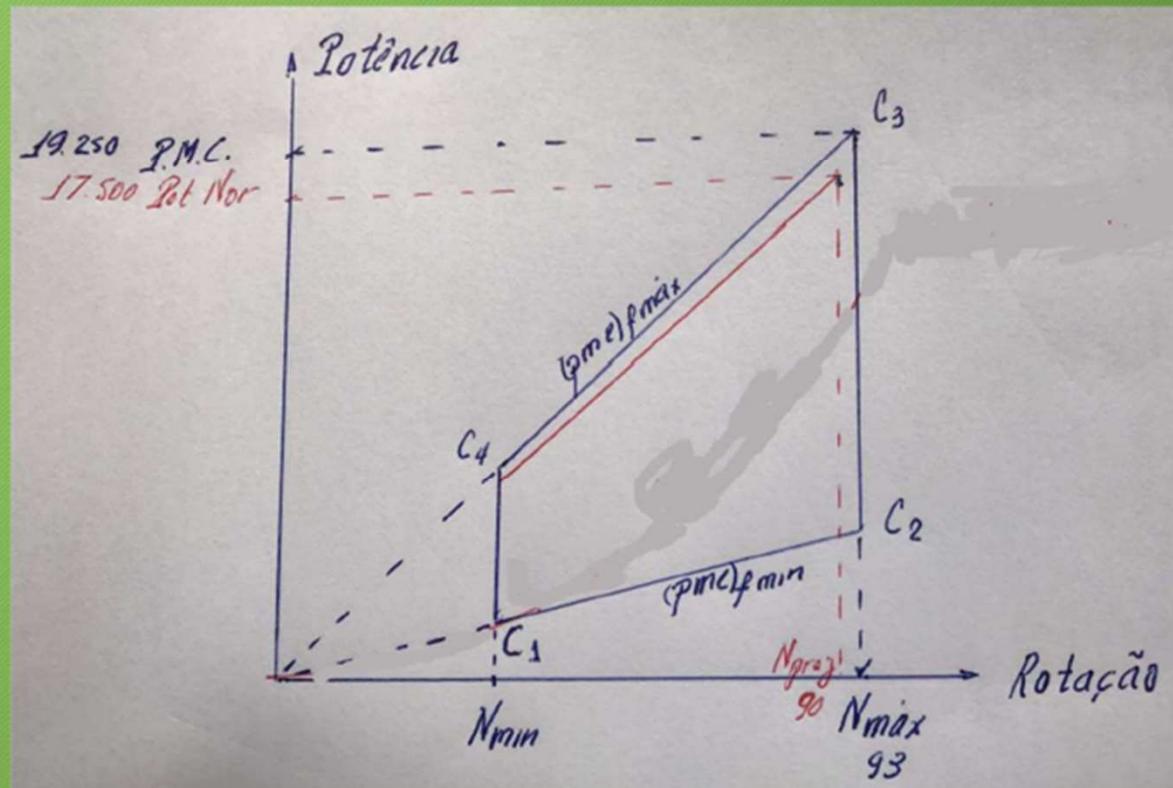
$(pme)_{fmin} = 0,3(pme)_{fproj}$

Pode-se, então, construir no gráfico potência versus rotação a região de operação do motor (veja Figura 3)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

Figura 3
Representação da
região de operação
do motor



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

1. Os dados da figura 3 podem ser transferidos para o gráfico de potência do diagrama de integração

Pontos: C1, C2, C3, C4

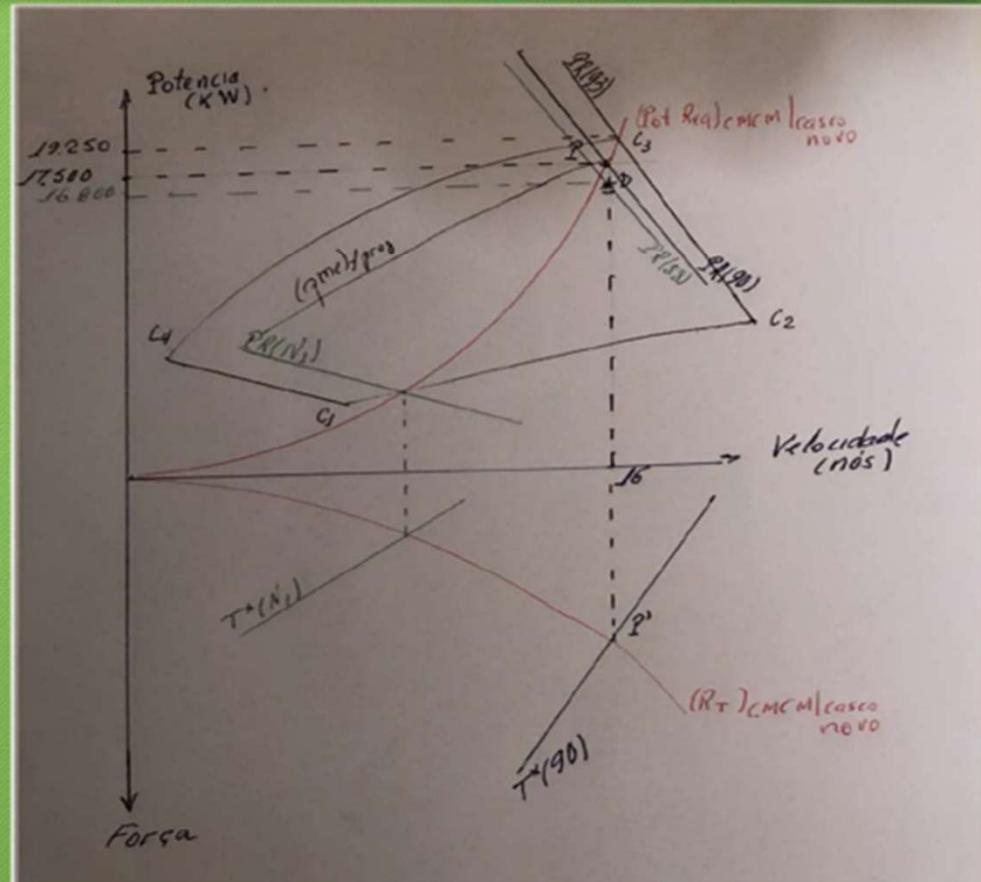
Curva de pressão média efetiva no freio de projeto

(Veja Figura 4)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

Figura 5
Representação do ponto de operação em prova de mar
Ponto D: ($V = 16$ nós,
potência = 16.800 kW,
rotação = 88 rpm)



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM PROVA DE MAR

O ponto D' determina a resistência ao avanço para a velocidade de 16 nós, na prova de mar realizada depois da reforma

$$(RT (16)_{PM})_{12 \text{ anos}}$$

Pelo ponto D' passa a curva de resistência para esta condição

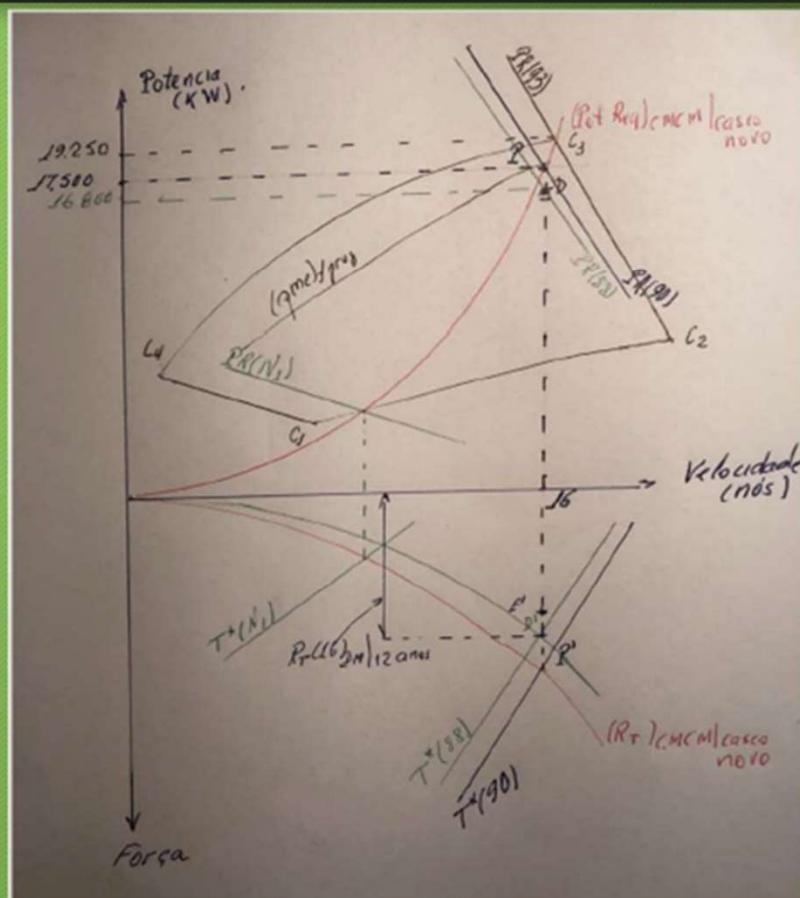
(Veja Figura 7)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

FIGURA 7

Pode-se observar na figura o valor da resistência na velocidade de 16 nós na prova de mar com o casco de 12 anos



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA

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

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

Na figura 8 destaca-se o valor de

$$(RT(16)_{CMCM})_{\text{casco novo}}$$

Conhecendo-se a margem de resistência, pode-se obter

$$(RT(16)_{PM})_{\text{casco novo}} = (RT(16)_{CMCM})_{\text{casco novo}} / (1 + MR)$$

Obtém-se, assim, o ponto E', assinalado na Figura 8 e na Figura 9 desenha-se a curva de $RT(PM)_{\text{casco novo}}$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA

A partir dos pontos D' e E', assinalado na Figura 9, é possível calcular a variação de resistência

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

Então obtém-se

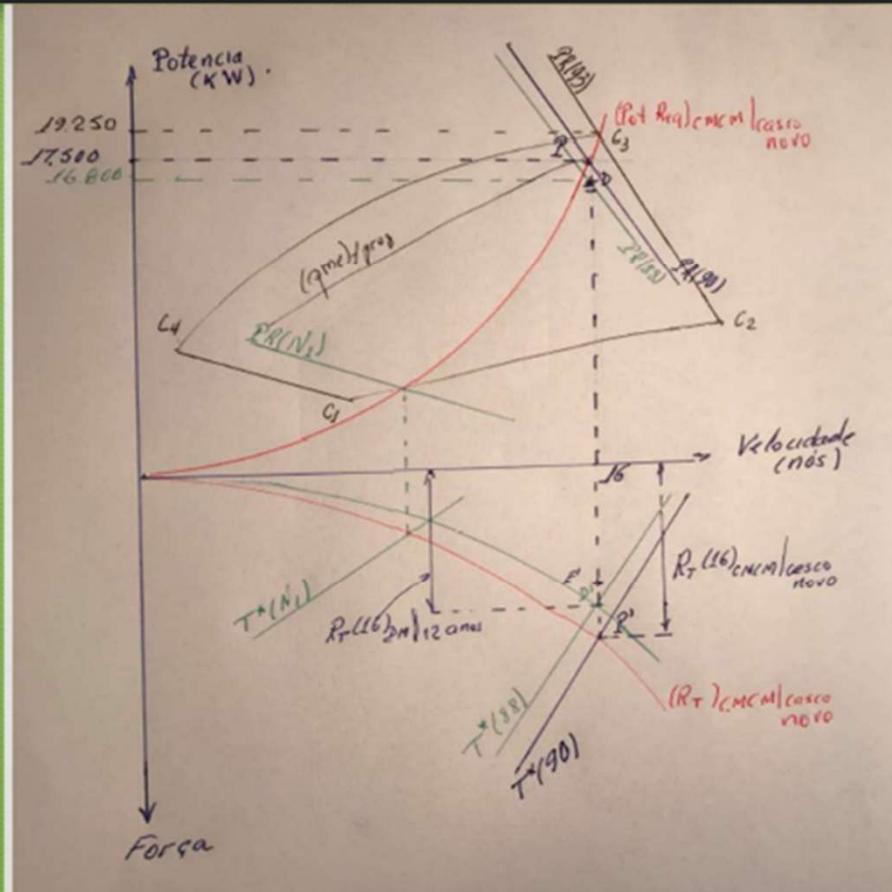
$$\alpha 1 = [\Delta RT / (RT (16)_{PM})_{\text{casco novo}}] / 12$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

FIGURA 8

Pode-se observar na figura o valor da resistência na velocidade de 16 nós em condições médias de casco e mar com o casco novo



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE EM CONDIÇÕES MÉDIAS DE CASCO E MAR

Sabe-se que em prova de mar o navio atingiu 16 nós com o motor fornecendo 16.800 kW

Qual, então, é a velocidade que o navio pode atingir em condições médias de casco e mar?

Para responder a esta questão é necessário representar a curva de resistência para condições médias de casco e mar para o casco com 12 anos.

Conhecendo-se $(RT(16))_{PM}^{12 \text{ anos}}$, pode-se determinar $(RT(16))_{CMCM}^{12 \text{ anos}}$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE EM CONDIÇÕES MÉDIAS DE CASCO E MAR

$$(RT (16)_{CMCM})_{12 \text{ anos}} = (RT (16)_{PM})_{12 \text{ anos}} (1+MR)$$

Obtém-se assim o ponto F', por onde passa a curva de resistência para condições médias de casco e mar para o casco com 12 anos de vida

(Veja Figura 10)

Conhecida a curva de resistência pode-se levantar a curva de potência requerida casco – hélice correspondente ; utilizou-se para isto o ponto G'

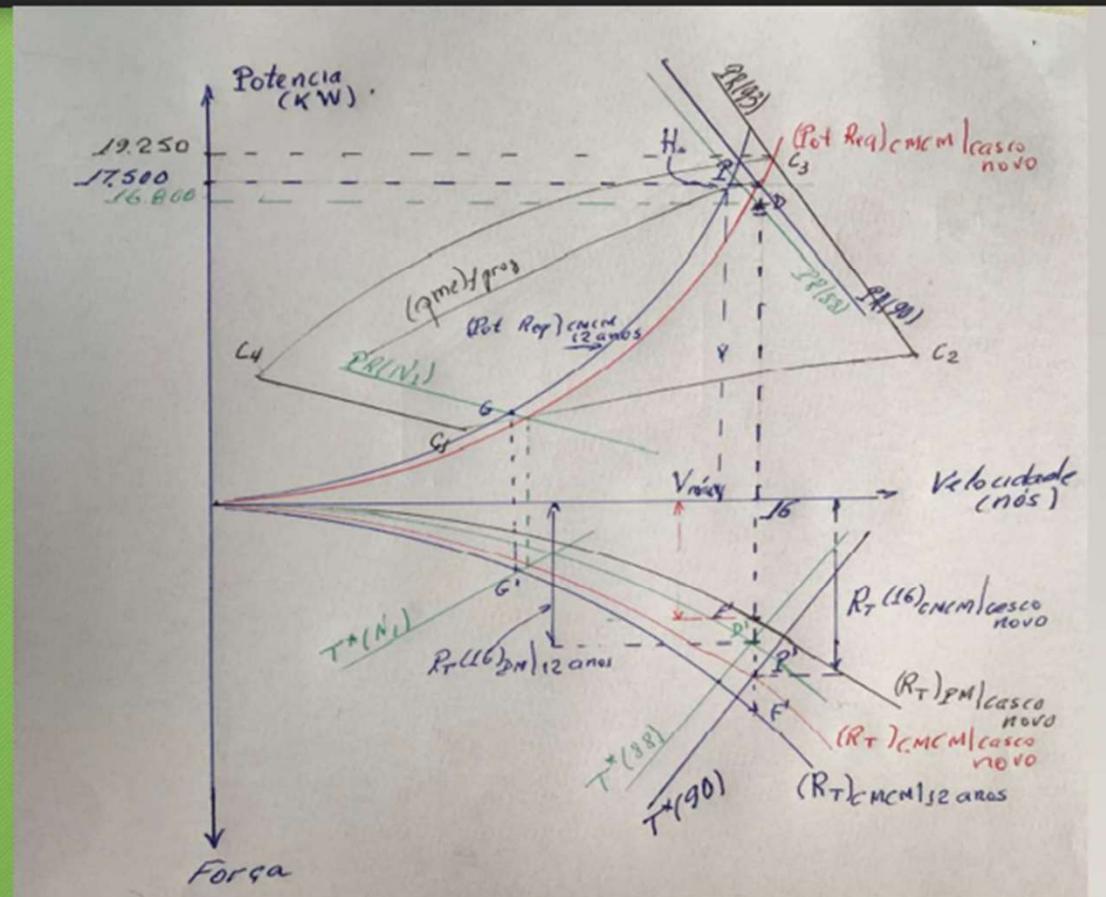
Pelo ponto G passa essa curva (Veja Figura 11)

No encontro da curva de potência requerida em condições médias de casco e mar para o casco com 12 anos com a curva de $(pme)_{fproj}$ obtém-se o ponto H que determina a velocidade máxima que o navio pode operar

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

RESOLUÇÃO DA QUESTÃO ILUSTRATIVA

FIGURA 11
Determinação da velocidade do navio em condições médias de casco e mar



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

EXERCÍCIO

21/06

Um navio de cabotagem opera com diferentes condições de carregamento, resultando numa grande variação de deslocamento. O deslocamento máximo é 20.000 toneladas, e nesta condição, para se mover na velocidade de serviço, 15 nós, é requerida uma potência de máquina 6.000 kW à rotação 120 rpm.

Foi selecionado, portanto, um motor com potência normal 6.000 kW à rotação 120 rpm.

Em outra condição de operação, com deslocamento parcial, o navio atingiu a velocidade de 15 nós com a utilização de 4.500 kW.

Sabe-se que, para velocidade constante, a resistência ao avanço varia com o deslocamento da seguinte forma:

$$RT(\text{DESL PARC})/RT(\text{DESL PROJ}) = (\text{DESL PARC}/\text{DESL PROJ})^{2/3}$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

EXERCÍCIO

21/06

- a) Indicar um procedimento para determinar qual era o deslocamento do navio naquela condição
- b) Qual a máxima velocidade que o navio poderia atingir nesta condição

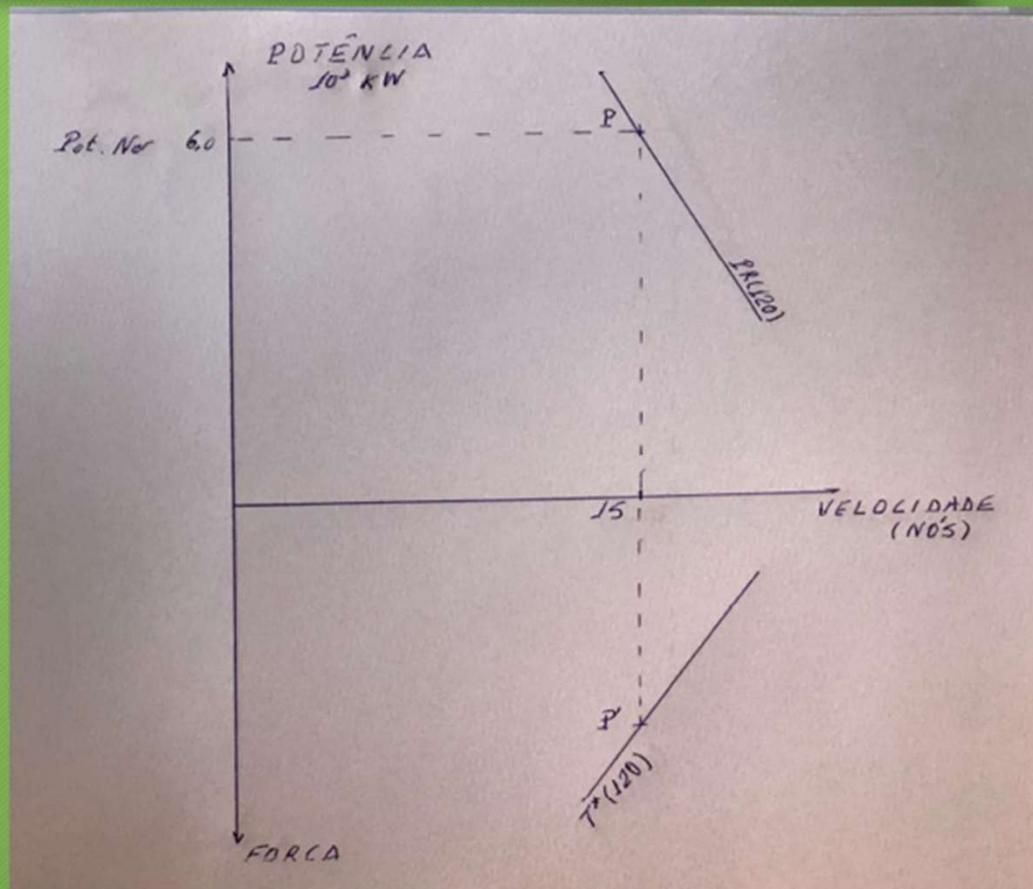
APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

1. Desenhar o diagrama de integração
 - com os gráficos de força e potência em função da velocidade
2. Representar o ponto de projeto neste diagrama
 - P: no gráfico de potência $P = P(15 \text{ nós}, 6.000 \text{ kW}, 120 \text{ rpm})$
 - P': no gráfico de força $P' = P'(15 \text{ nós}, 120 \text{ rpm})$

(Veja Figura 12)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

FIGURA 12
Representação do ponto de projeto da instalação propulsora



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

3. Pelo ponto P' passa a curva de resistência para condições médias de casco e mar, admitindo rugosidade de casco novo

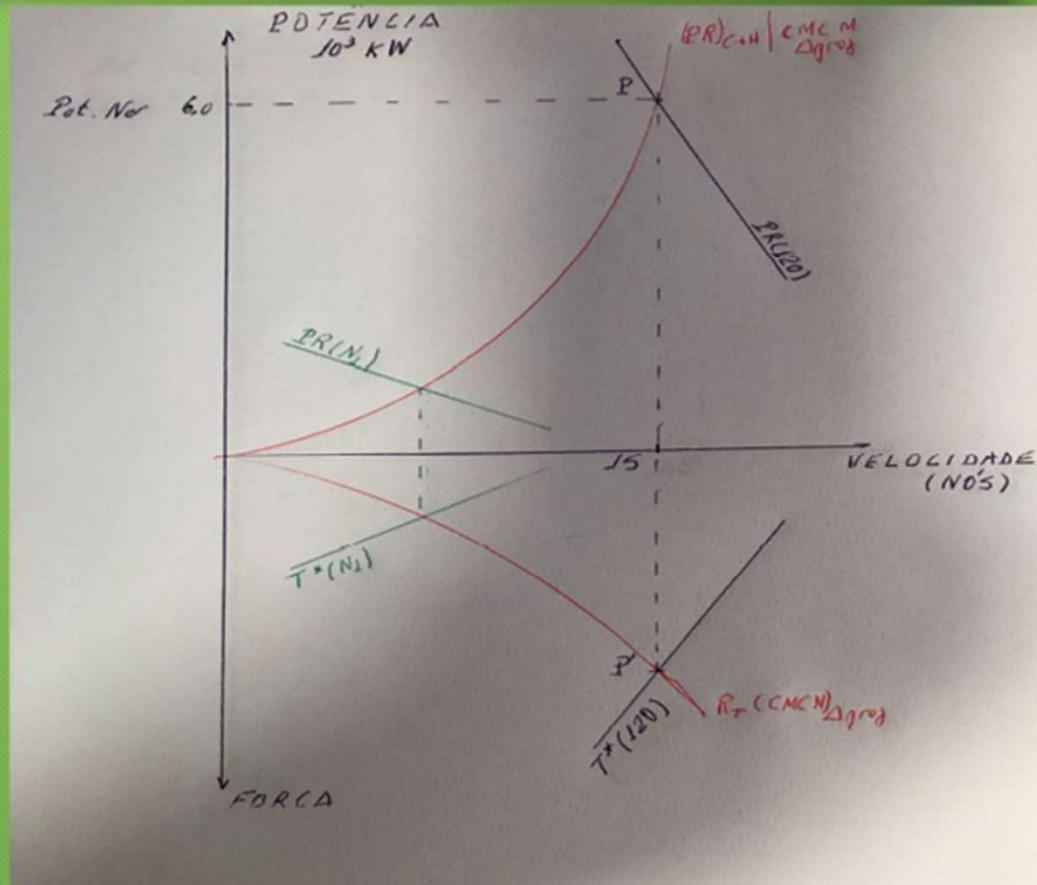
4. Pelo ponto P passa a curva de potência requerida casco - hélice para condições médias de casco e mar, admitindo rugosidade de casco novo (Veja Figura 13)

Observação: Foram desenhadas as curvas auxiliares de $T^*(N1)$ e $PR(N1)$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

FIGURA 13

- Representação das curvas de projeto
- Resistência do casco
 - Potência requerida casco - hélice



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR

1. São conhecidas as especificações de projeto do motor

Potência Normal 6.000 kW

Rotação de projeto 120 rpm

2. Adotam-se valores para margem de potência e margem de rotação

$MP = 0,10$ $Mrot = 0,03$

3. Admite-se adicionalmente

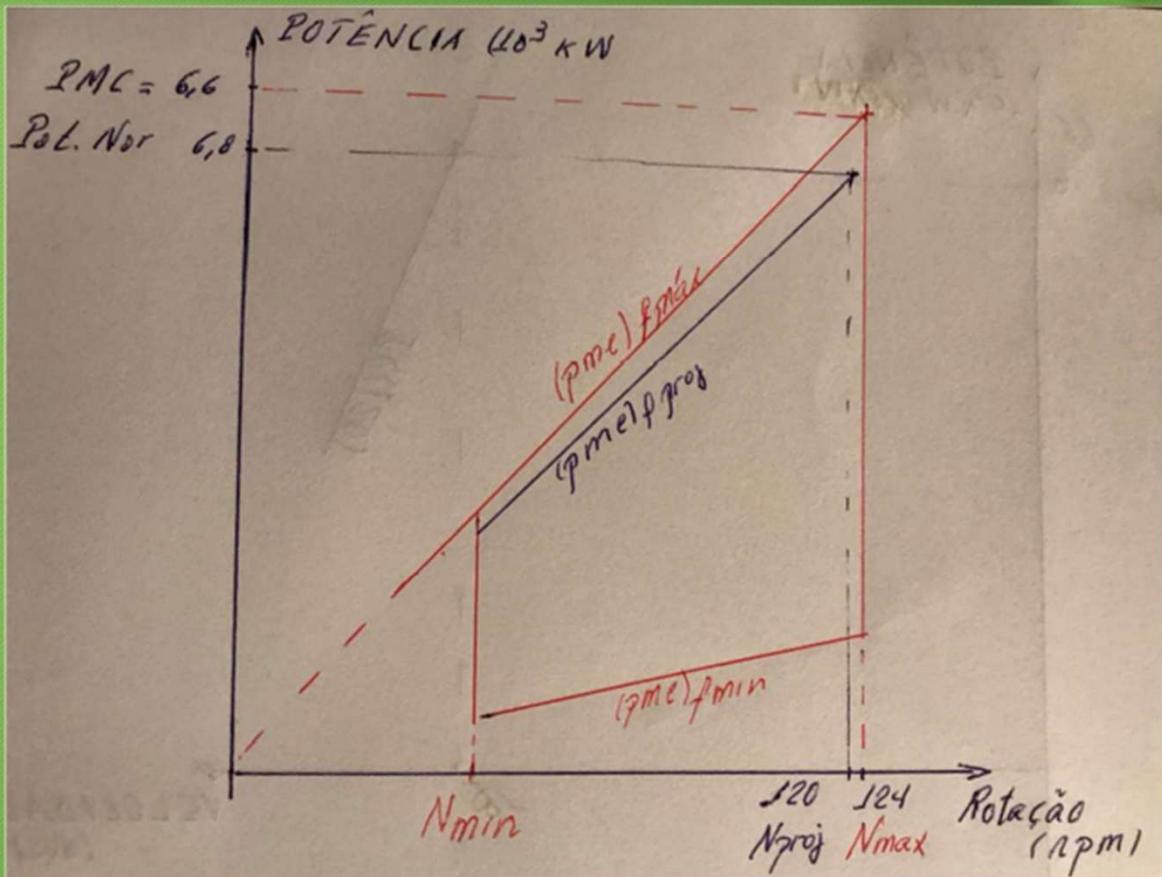
$N_{min} = 0,4 N_{max}$
 $(pme)_{fmin} = 0,3(pme)_{fproj}$

Pode-se, então, construir no gráfico potência versus rotação a região de operação do motor

(veja Figura 14)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

FIGURA 14
Representação da
região de operação do
motor



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DA REGIÃO DE OPERAÇÃO DO MOTOR E DA CONDIÇÃO DE DESLOCAMENTO PARCIAL

Os dados da figura 14 - região de operação do motor - são transferidos para o gráfico de potência do diagrama de integração

Além dos limites da região de operação, foi transcrita a curva de pressão média efetiva no freio de projeto

(Veja Figura 15)

Foi também representada nessa figura o ponto de operação em deslocamento parcial – ponto A

A = A(15 nós, 4.500 kW)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DA REGIÃO DE OPERAÇÃO DO MOTOR E DA CONDIÇÃO DE DESLOCAMENTO PARCIAL

Conhecidas a velocidade e a potência do ponto A, fica definida uma rotação; chama-se N_A esta rotação

Desenha-se a curva de potência requerida N_A

Pode-se desenhar no gráfico de força a curva de empuxo líquido para rotação N_A

Determina-se, então, o ponto A' para $V = 15$ sobre a curva de $T^*(120)$
(Veja Figura 16)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

REPRESENTAÇÃO DOS DADOS DA CONDIÇÃO DE DESLOCAMENTO PARCIAL

Pode-se desenhar no gráfico de força a curva de Resistência para deslocamento parcial, passando pelo ponto A'

Pode-se assinalar no gráfico de forças os valores de resistência para a velocidade de 15 nós nas condições médias de casco e mar, para deslocamento parcial e de projeto

$$RT(15)_{\Delta_{\text{parc}}} \text{ e } RT(15)_{\Delta_{\text{proj}}}$$

(Veja Figura 17)

Pode-se, então, determinar o valor do deslocamento

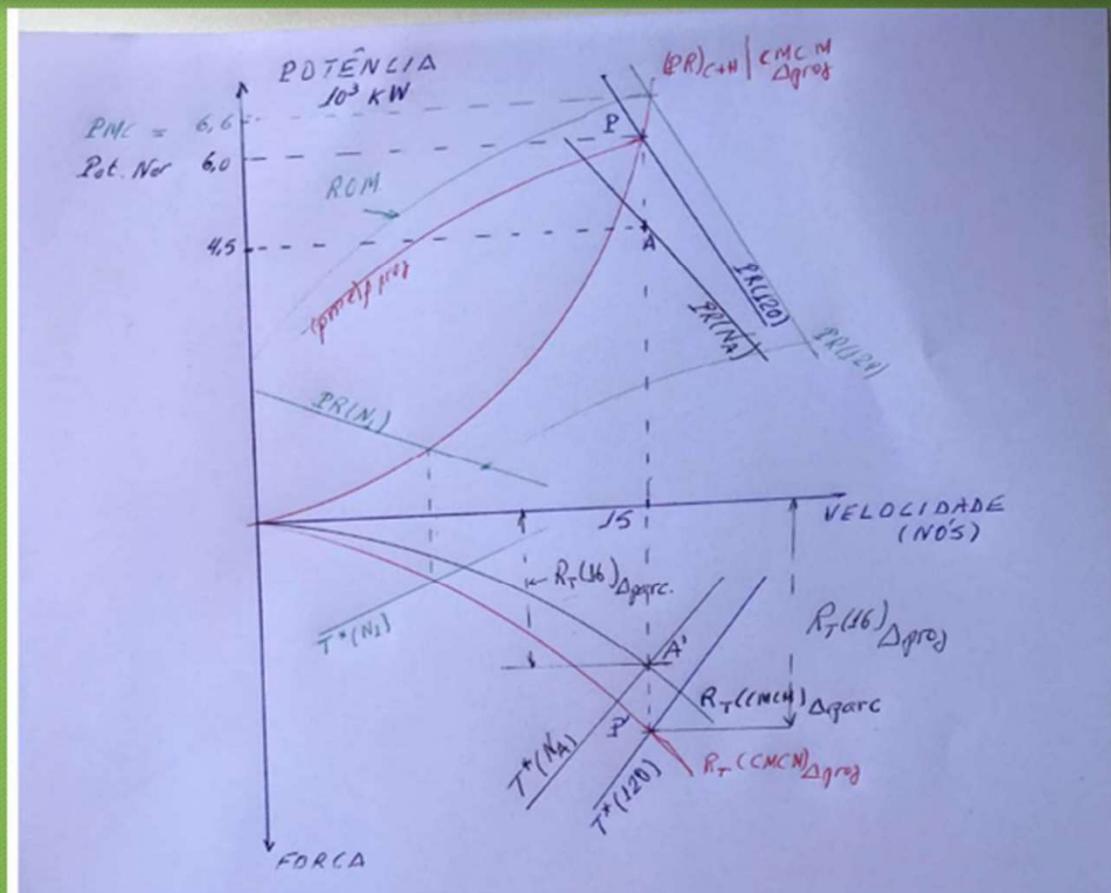
$$(\Delta)_{\text{parc}} = (\Delta)_{\text{proj}} \left[\frac{RT(15)_{\Delta_{\text{parc}}}}{RT(15)_{\Delta_{\text{proj}}}} \right]^{3/2}$$

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

FIGURA 17

Representação da curva de resistência para deslocamento parcial em condições médias de casco e mar e de

$RT(16)_{\Delta_{\text{parc}}}$
e $RT(16)_{\Delta_{\text{proj}}}$



ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÁXIMA COM DESLOCAMENTO PARCIAL

Desenha-se no gráfico de potência a curva de potência requerida casco – hélice para a condição de deslocamento parcial
Esta curva passa pelo ponto A

Na intersecção da curva com o limite da região de operação do motor encontra-se o ponto B

Este ponto define a velocidade máxima que o navio pode atingir com este deslocamento parcial

(Veja Figura 18)

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

FIGURA 18

Representação da curva de potência requerida para deslocamento parcial em condições médias de casco e mar

Determinação da velocidade máxima

$B(PR(124); ((PR)C+H)_{\Delta_{parc}}$

