

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPULSOR

HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

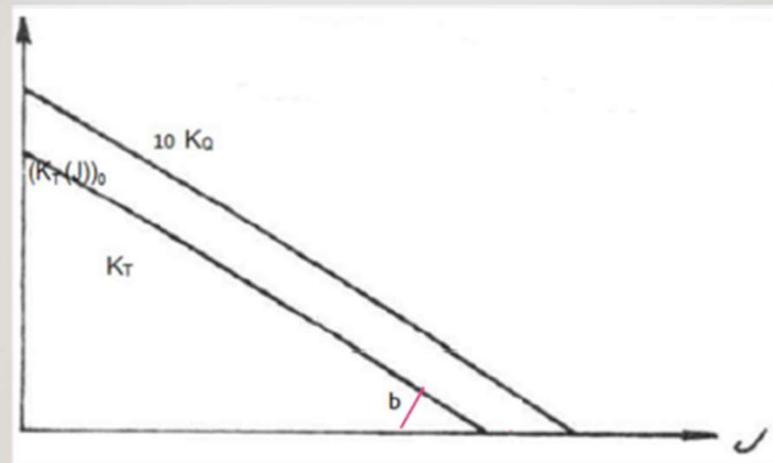
1. REVISÃO
2. ADAPTAÇÃO DO PROCEDIMENTO
3. EXERCÍCIO DO BARCO PESQUEIRO
4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

REVISÃO DO TRATAMENTO PARA HÉLICE DE PASSO FIXO

1. Linearização das curvas de constante de empuxo e constante de torque
2. Dimensionalização das características do hélice
3. Mudança de escalas

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:

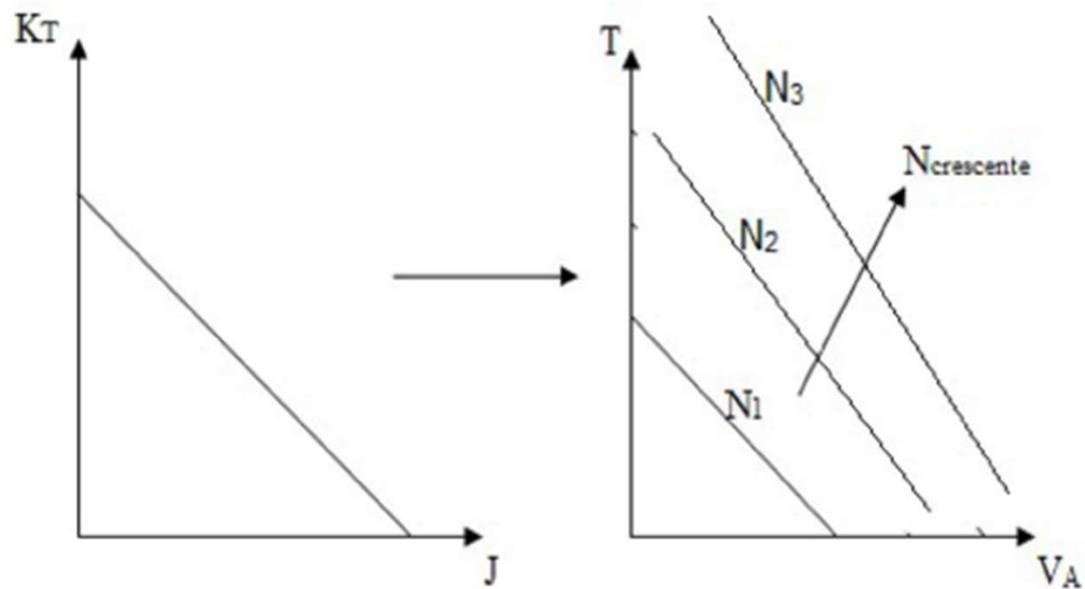
$$T = T_0(N_1) - b'(N_1) Va$$

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 $K_T(J)$



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

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

$$C_2(N) = N D$$

PREPARAÇÃO DA INTEGRAÇÃO CASCO-HÉLICE - MOTOR

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:

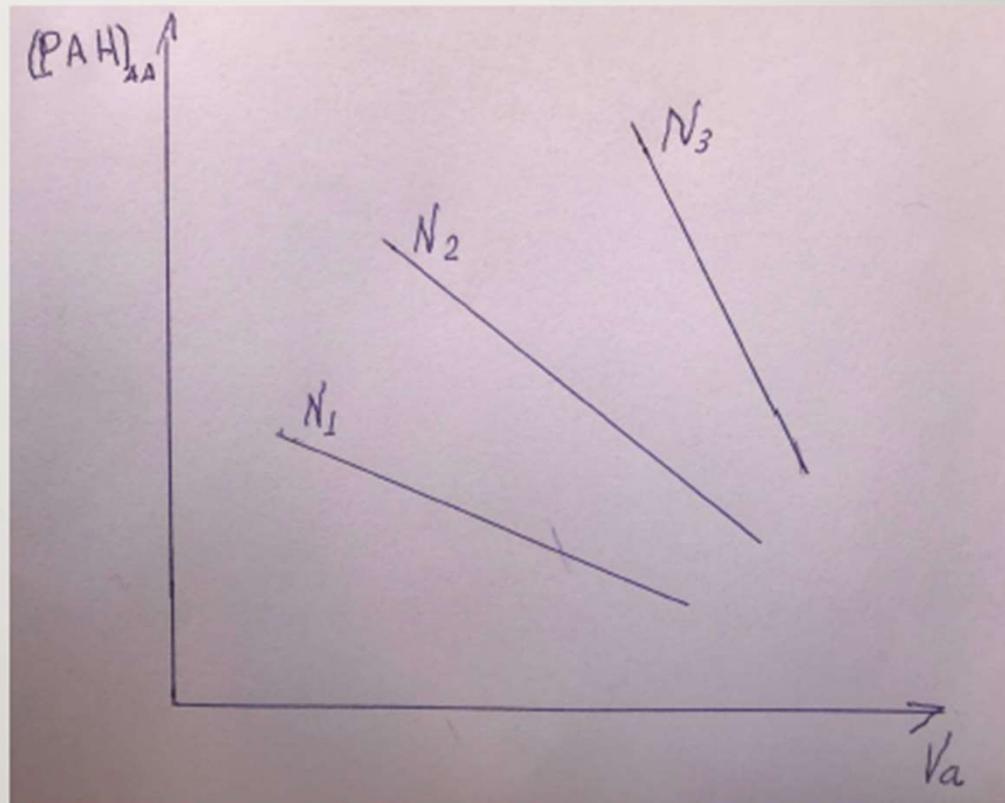
$$(PAH)_{AA} = ((PAH)_{AA})_0(N_1) - d''(N_1) V_a$$

em que

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

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

Representação das
curvas de potência
absorvida pelo hélice
em água aberta em
função da velocidade
de avanço



ADAPTAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

1. GENERALIZAÇÃO DOS RESULTADOS
2. A INFLUÊNCIA DA RAZÃO PASSO – DIÂMETRO
3. ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO NO GRÁFICO POTÊNCIA VERSUS ROTAÇÃO
4. MODIFICAÇÕES NO DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO

GENERALIZAÇÃO DOS RESULTADOS PARA HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

1. Curvas de constante de empuxo e constante de torque

Veja Figura 1

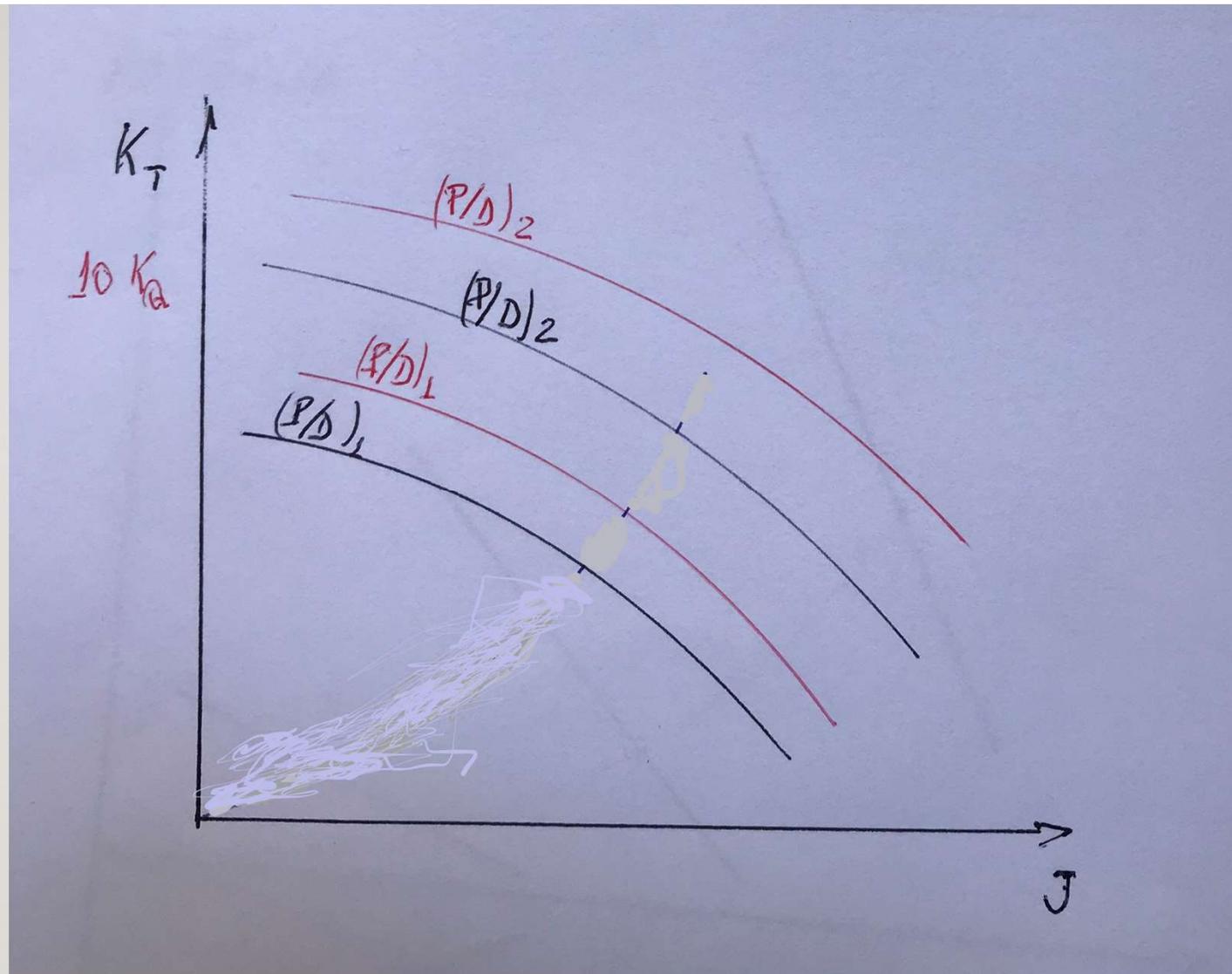
2. Linearização das curvas de K_T e K_Q

3. Empuxo como função de rotação e passo – diâmetro

4. Potência requerida como função de rotação e passo – diâmetro

FIGURA 1
Representação
das curvas de K_T
e K_Q para
diferentes
valores de P/D

$$(P/D)_2 > (P/D)_1$$



HÉLICE DEPASSO CONTROLÁVEL

Representação das curvas de constante de empuxo

Admite - se que as curvas (lineares) $K_T(J)$ são paralelas para P/D diferentes, isto é:

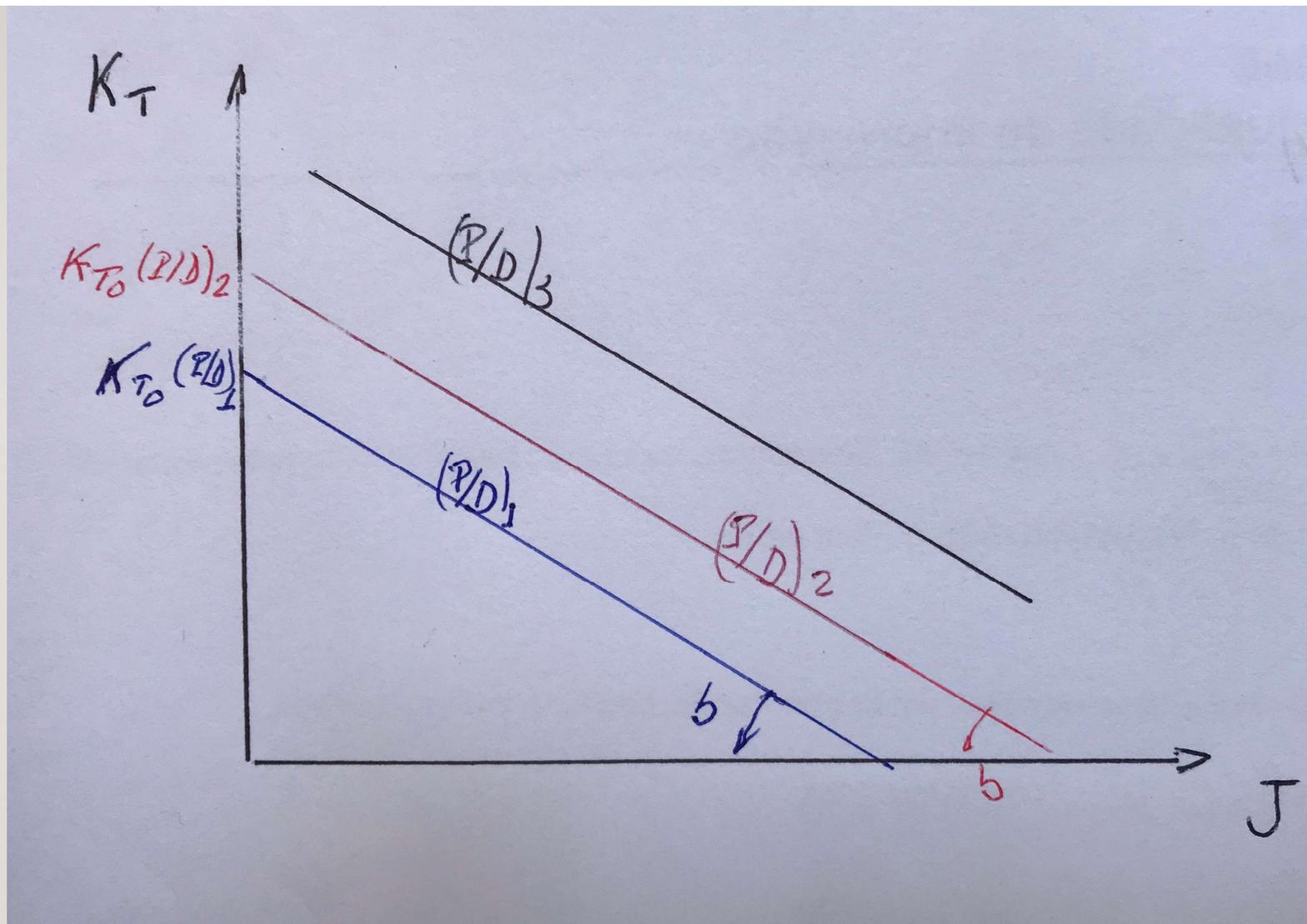
$$K_T (P/D) = K_{T_0} (P/D) - b J$$

Veja Figura 2

FIGURA 2

Curvas de K_T para diferentes valores de P/D

$$(P/D)_3 > (P/D)_2 > (P/D)_1$$



HÉLICE DEPASSO CONTROLÁVEL

REPRESENTAÇÃO DO EMPUXO

Generalização das equações de dimensionalização, considerando a variação de passo, conduz a:

$$T = T_0(N, P/D) - b'(N, P/D) V_a$$

em que

$$T_0(N, P/D) = C_1(N) K_{T_0}(P/D)$$

$$b'(N, P/D) = C_1(N) / C_2(N) b$$

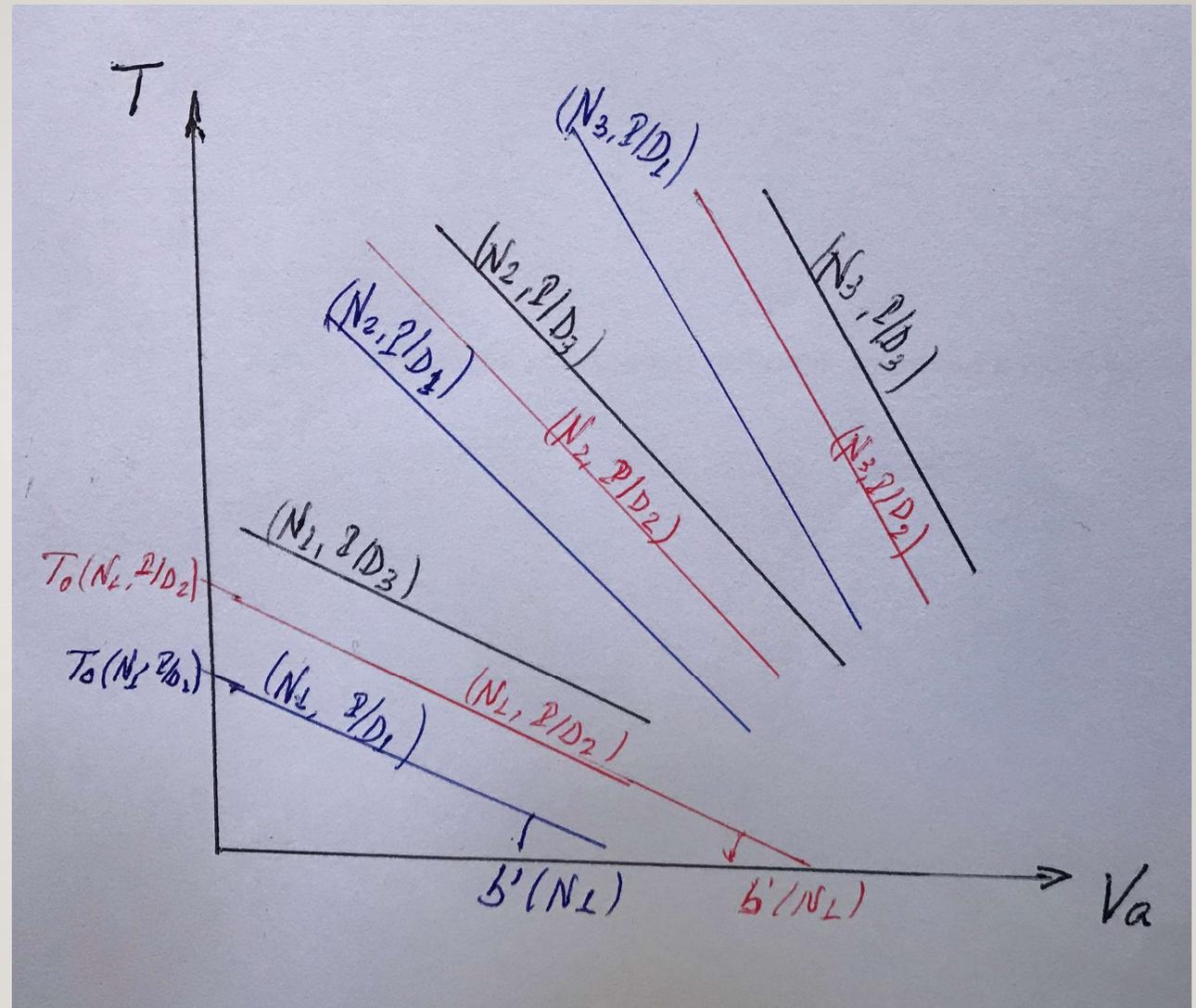
$$C_1(N) = \rho N^2 D^4$$

$$C_2(N) = N D$$

Veja Figura 3

FIGURA 3

Representação das curvas de empuxo do hélice em função da velocidade de avanço e parametrizadas em termos de rotação e razão passo – diâmetro
 $(P/D)_3 > (P/D)_2 > (P/D)_1$



HÉLICE DEPASSO CONTROLÁVEL

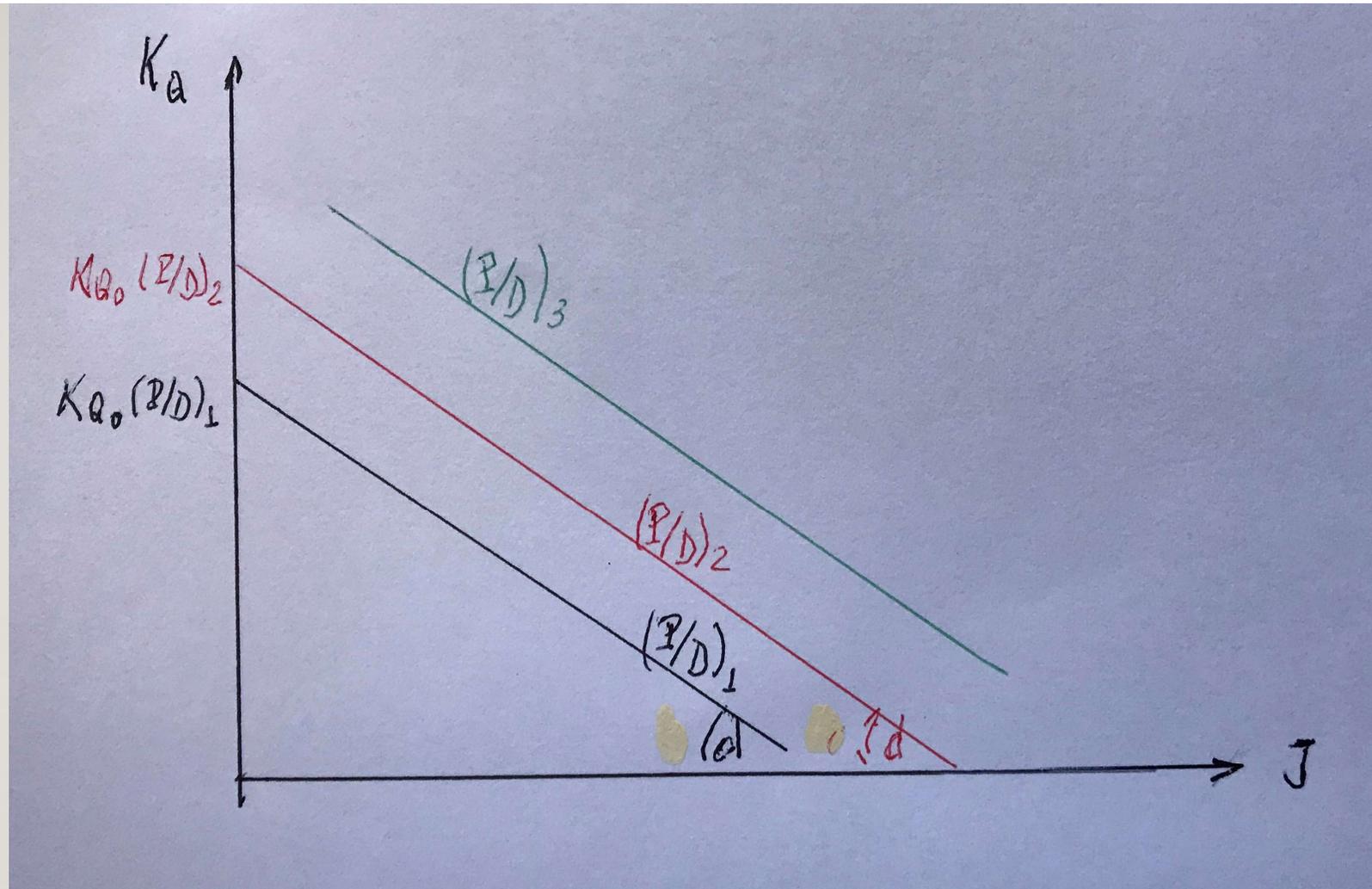
Representação das curvas de constante de TORQUE

Admite - se que as curvas (lineares) $K_Q(J)$ são paralelas para P/D diferentes, isto é:

$$K_Q (P/D) = K_{Q_0} (P/D) - b J$$

Veja Figura 4

FIGURA 4
Curvas de K_Q para
diferentes valores de
 P/D
 $(P/D)_3 > (P/D)_2 > (P/D)_1$



HÉLICE DEPASSO CONTROLÁVEL

REPRESENTAÇÃO DA POTÊNCIA ABSORVIDA

Generalização das equações de dimensionalização, considerando a variação de passo, conduz a

$$(PAH)_{AA} = ((PAH)_{AA})_0 (N, P/D) - d''(N, P/D) V_a$$

em que

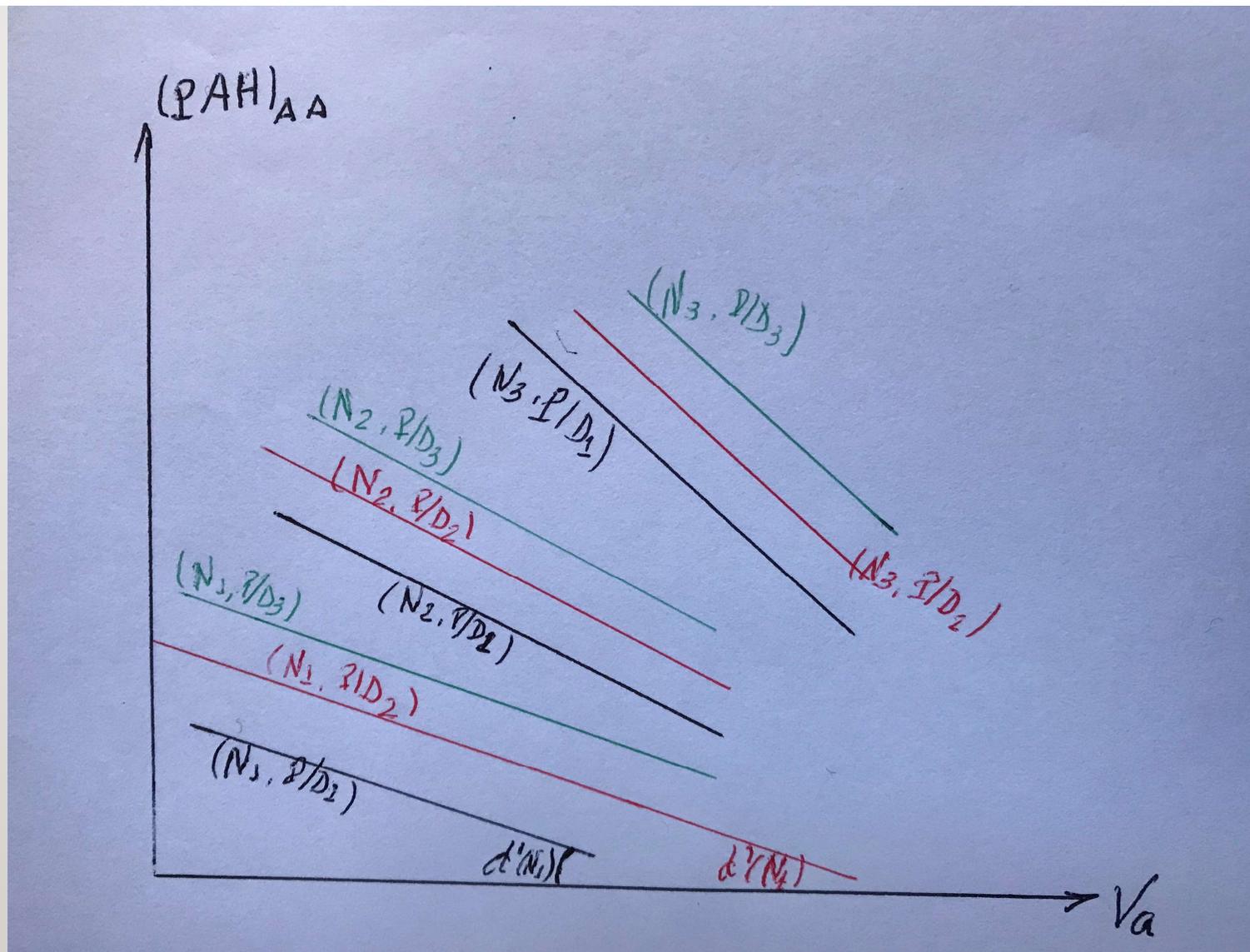
$$((PAH)_{AA})_0 (N, P/D) = 2\pi N C_3 (N, P/D) (K_Q (J))_0 (P/D)$$

$$d''(N, P/D) = 2\pi N C_3 (N, P/D) d / C_2 (N)$$

VEJA FIGURA 4

FIGURA 5

Representação das curvas de potência absorvida pelo hélice em água aberta em função da velocidade de avanço e parametrizadas em termos de rotação e razão passo – diâmetro $(P/D)_3 > (P/D)_2 > (P/D)_1$

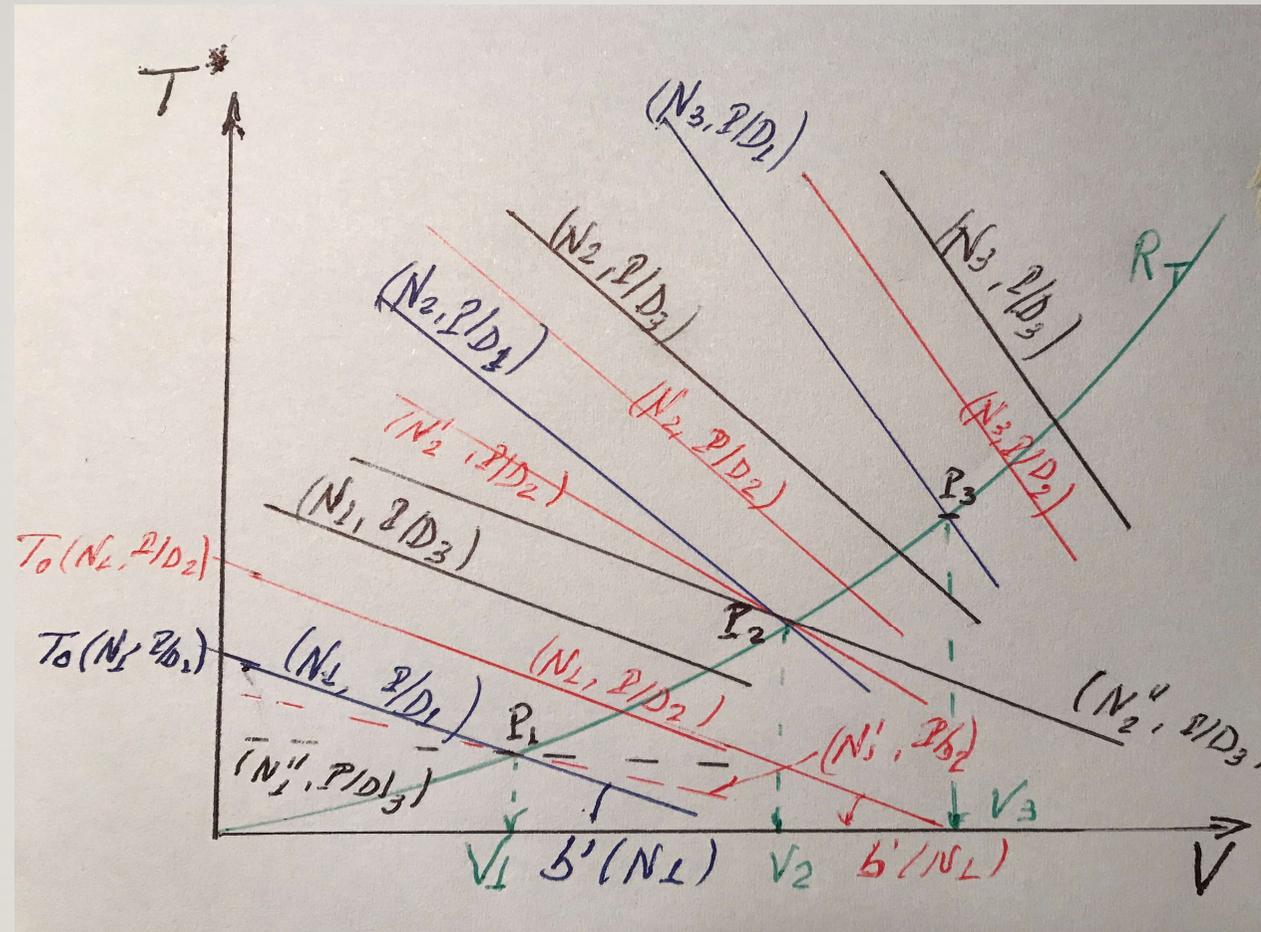


INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

A exemplo do que foi feito com o emprego de hélice de passo fixo, coloca-se em um gráfico de força versus velocidade do navio a curva de resistência do casco e as curvas de empuxo líquido do hélice para diferentes rotações e diferentes valores da razão passo – diâmetro

Veja figura 5

FIGURA 5
 Integração casco – hélice
 no gráfico de força



INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

ANÁLISE DA FIGURA 5

Para uma dada velocidade do navio, existem diversas combinações rotação – razão passo – diâmetro que representam pontos de equilíbrio

Quando se aumenta a razão passo – diâmetro uma dada velocidade é mantida com uma menor rotação do hélice

A velocidade V_1 pode ser obtida com: $(N_1, P/D_1)$, $(N'_1, P/D_2)$, $(N''_1, P/D_3)$

em que

$$N_1 > N'_1 > N''_1$$

$$P/D_1 < P/D_2 < P/D_3$$

O mesmo raciocínio aplica-se a outras velocidades

INTEGRAÇÃO CASCO - HÉLICE

ANÁLISE DA FIGURA 5

Cada ponto P_j define um ponto de regime permanente

$$P_j = P_j(V_j, N_k, P/D_l)$$

em que há uma correspondência entre cada N_k e uma dada P/D_l

Se fixarmos uma razão P/D_l podemos encontrar no diagrama de potência requerida do hélice a curva de potência requerida casco – hélice

Por exemplo, considerando a razão P/D_1 , obém-se a curva desenhada na Figura 6

A um ponto P_j correspondem diferentes pontos B_{jl} no gráfico de força

Os pontos B_{jl} (j fixo e $l = 1, 2, \dots, n$) poderão ser coincidentes se a eficiência do hélice for a mesma quando se altera a razão passo – diâmetro)

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES PARA INTEGRAÇÃO HÉLICE - MOTOR

1. GRÁFICO DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR
Pode-se representar a região de operação do motor (VEJA FIGURA 7)

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
(VEJA FIGURA 8)

GRÁFICO DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DO MOTOR

FIGURA 7
Região de operação
do motor

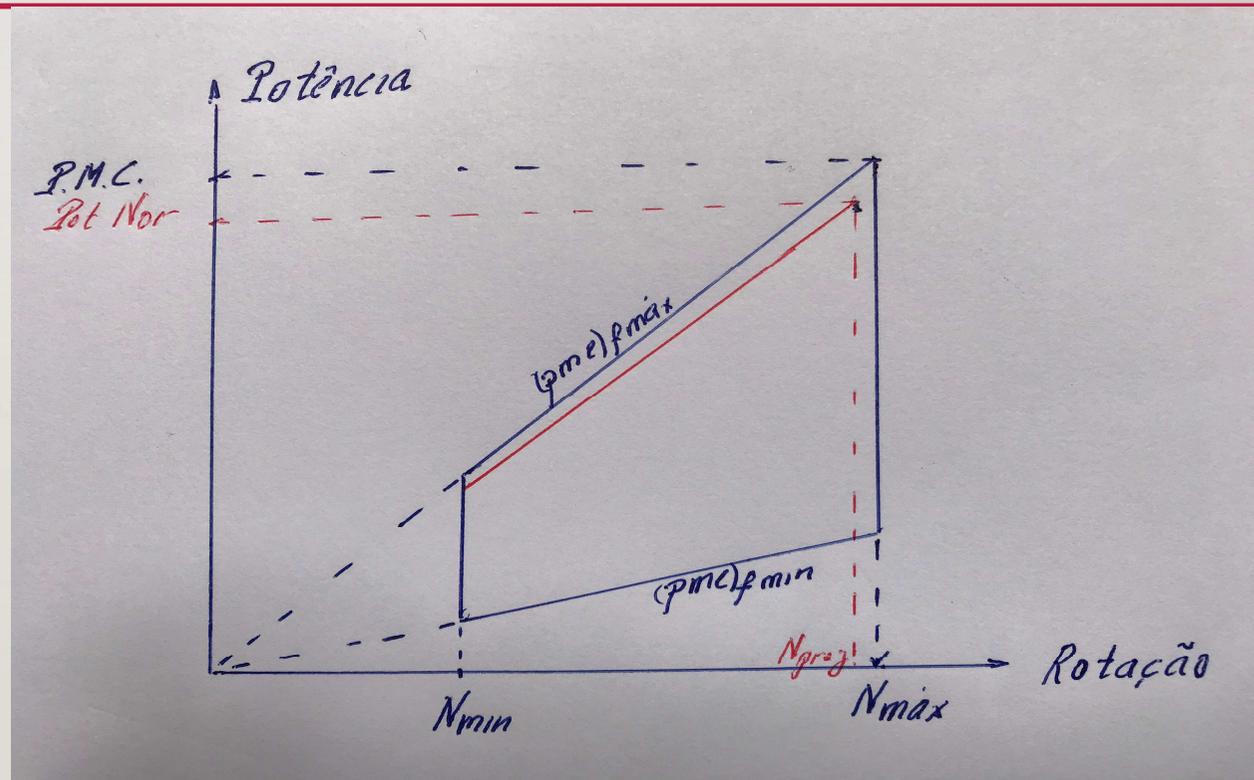
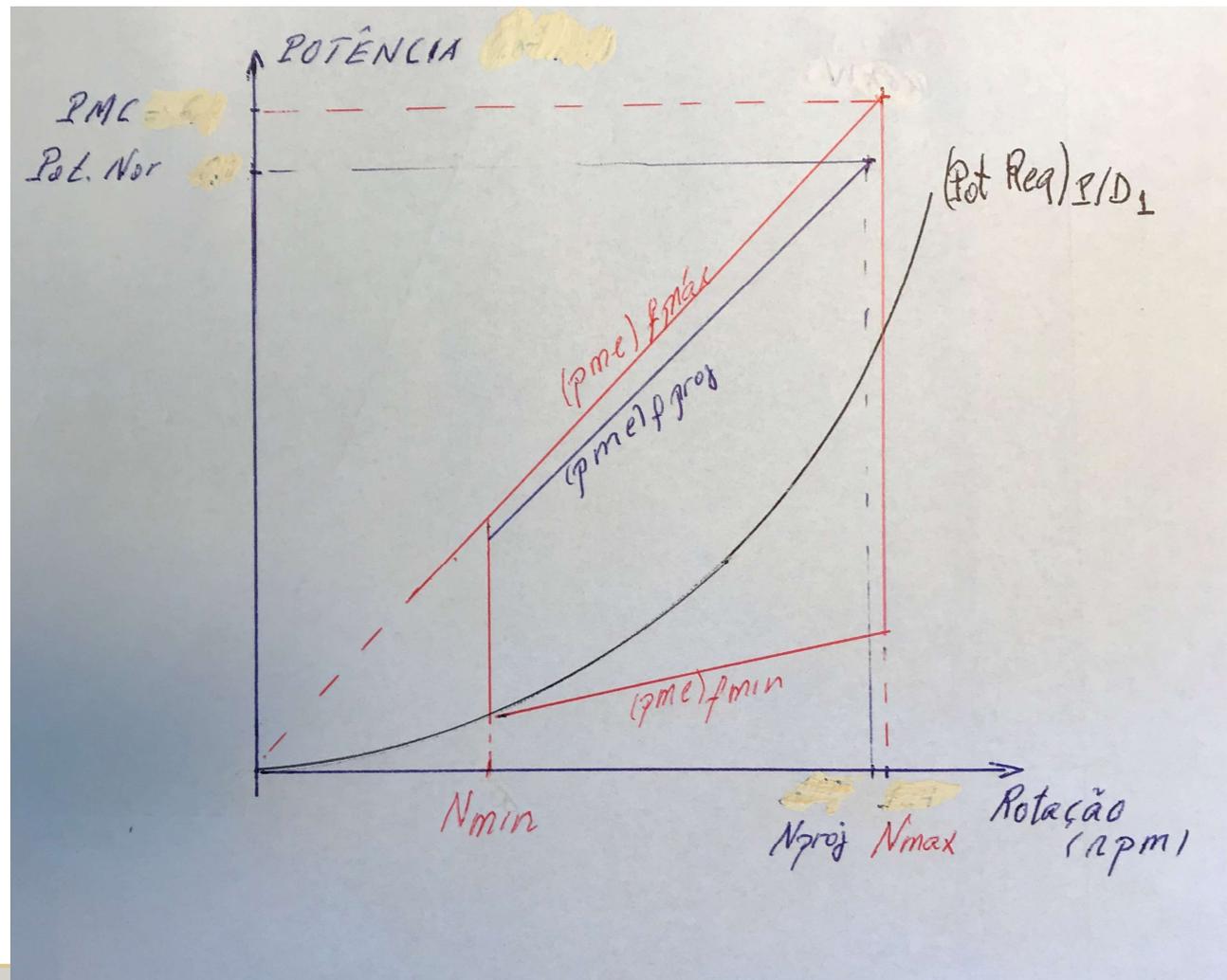


FIGURA 8
Região de operação
do motor e Curva de
potência requerida
casco – hélice



VARIAÇÃO DA RAZÃO PASSO DIÂMETRO

Na Figura 8 foi plotada sobre a região de operação do motor a curva de potência requerida para a razão passo – diâmetro 1

Como se posicionam as curvas de potência requerida para as outras razões passo diâmetro?

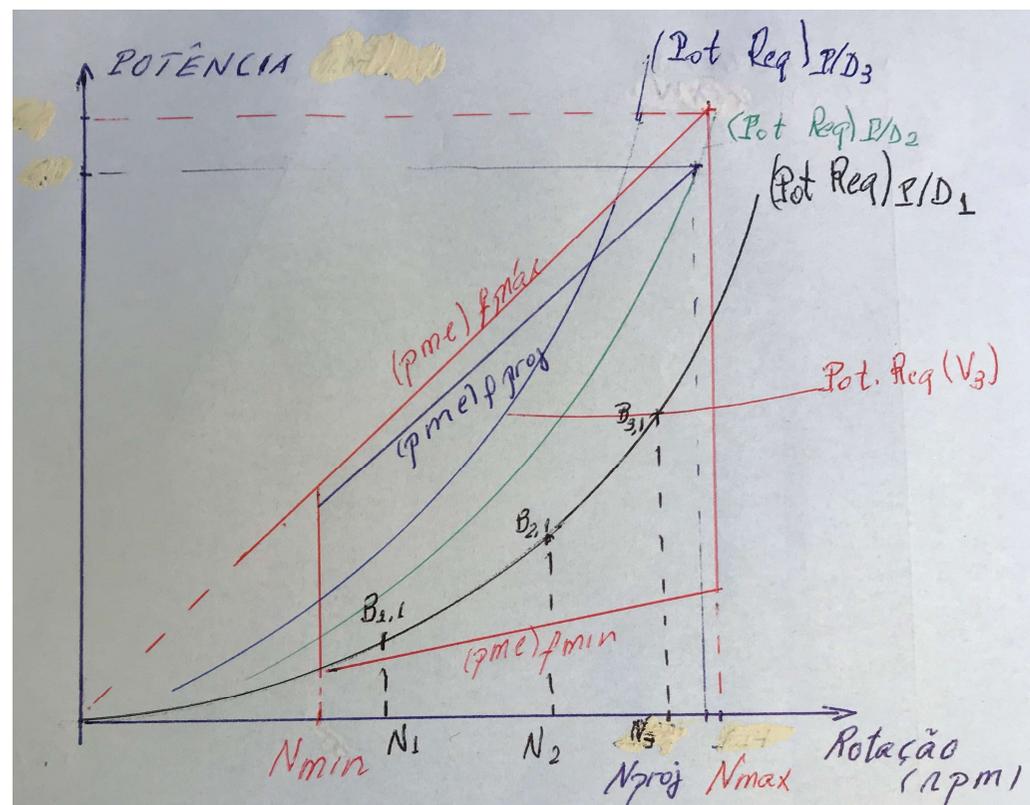
Essas curvas estão plotadas na Figura 9

Observa-se que quando aumenta a razão passo – diâmetro a curva de potência requerida se aproxima do eixo de potência

Para se atingir uma dada velocidade há uma redução da rotação quando se aumenta a razão passo - diâmetro

FIGURA 9

Região de operação do motor e Curvas de potência requerida para diferentes razões passo - diâmetro



INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE – MOTOR

COMENTÁRIOS SOBRE A FIGURA 9

1. Dependendo do (razão passo – diâmetro) passo escolhido a curva de potência requerida atinge a fronteira da região do motor em diferentes posições

a) na reta de rotação máxima

b) na reta de pressão média efetiva no freio máxima

2. Foi desenhada na figura a curva de potência requerida para que o navio se movimente com a velocidade V_3

Observações:

a) Esta curva vale para um dado deslocamento do navio e uma dada condição de casco e mar

b) Pela forma que foi desenhada esta curva, constata-se que o hélice tem maior eficiência para a velocidade V_3

INTEGRAÇÃO CASCO – HÉLICE – MOTOR NO DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO

DIFERENÇAS EM RELAÇÃO AO CASO DE PASSO FIXO

1. Há uma curva de potência requerida casco – hélice para cada razão passo – diâmetro; elas podem estar muito próximas umas das outras
2. Para cada razão passo – diâmetro há uma posição diferente para a região de operação do motor; isto resulta que para uma mesma rotação a curva de potência requerida se afasta da origem quando se aumenta a rotação

ANÁLISE DO PROBLEMA DO BARCO PESQUEIRO USO DE HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

Características de projeto de um pesqueiro de arrasto

i) velocidade de corrida livre; ii) força de arrasto

Dificuldades de uma instalação com hélice de passo fixo satisfazer os dois requisitos

Revisão do problema com hélice de passo fixo

Limitação da força de arrasto

EXERCÍCIO DO BARCO PESQUEIRO

A instalação propulsora de um barco pesqueiro foi projetada para a condição de corrida livre na qual a embarcação, em condições médias de casco e mar, deve ter uma velocidade de 8 nós. Não foi considerado o requisito da condição de arrasto, na qual a uma velocidade de 3 nós o barco tem que puxar uma rede.

A instalação é composta por um motor de potência normal 600 kW a 1200 rpm acoplado através de um redutor de razão 5:1 a um hélice de passo fixo.

Descrever os procedimentos para se determinar:

a) a máxima velocidade que o navio, com deslocamento de projeto, atinge em prova de mar;

EXERCÍCIO DO BARCO PESQUEIRO

b) a máxima força de arrasto que a instalação propulsora pode oferecer na velocidade de 3 nós.

c) Admitindo que a força de arrasto obtida no item anterior seja 20% inferior ao valor desejado, dizer se com uma redução de velocidade seria possível atingir a força requerida.

d) Seria interessante que o redutor tivesse um outro conjunto de engrenagens com maior razão de redução?

e) Qual a vantagem de se dispor de um hélice de passo controlável para o pesqueiro?

EXERCÍCIO DO BARCO PESQUEIRO

RESOLUÇÃO:

Os slides seguintes mostram o desenvolvimento da solução:

- 1) Representação do diagrama de integração e do ponto de projeto da instalação contemplando o requisito de corrida livre
- 2) A região de operação do motor
- 3) A velocidade máxima atingida em corrida livre
- 4) A máxima força de tração na velocidade de arrasto

FIGURA 10
Região de
operação do
motor

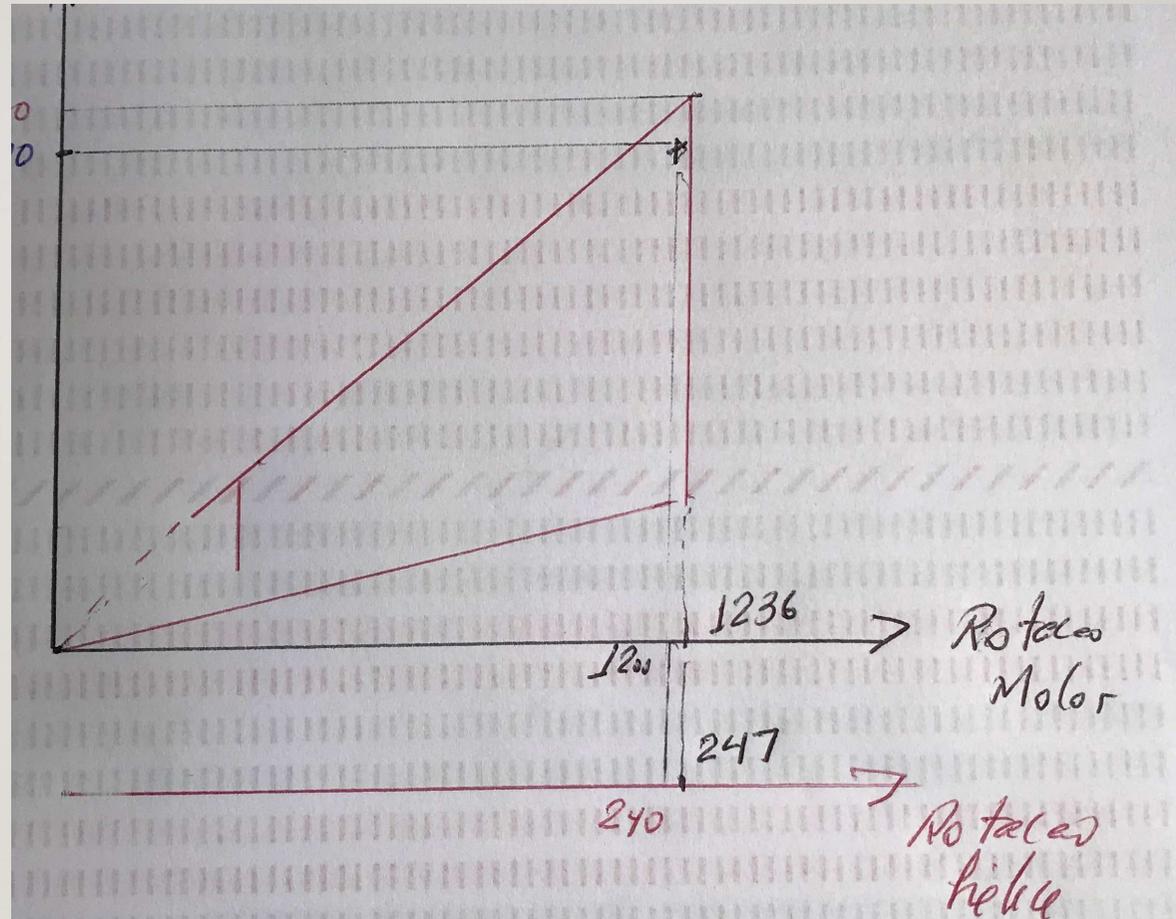


FIGURA 11
Região de operação
do motor
representada no
diagrama de
integração

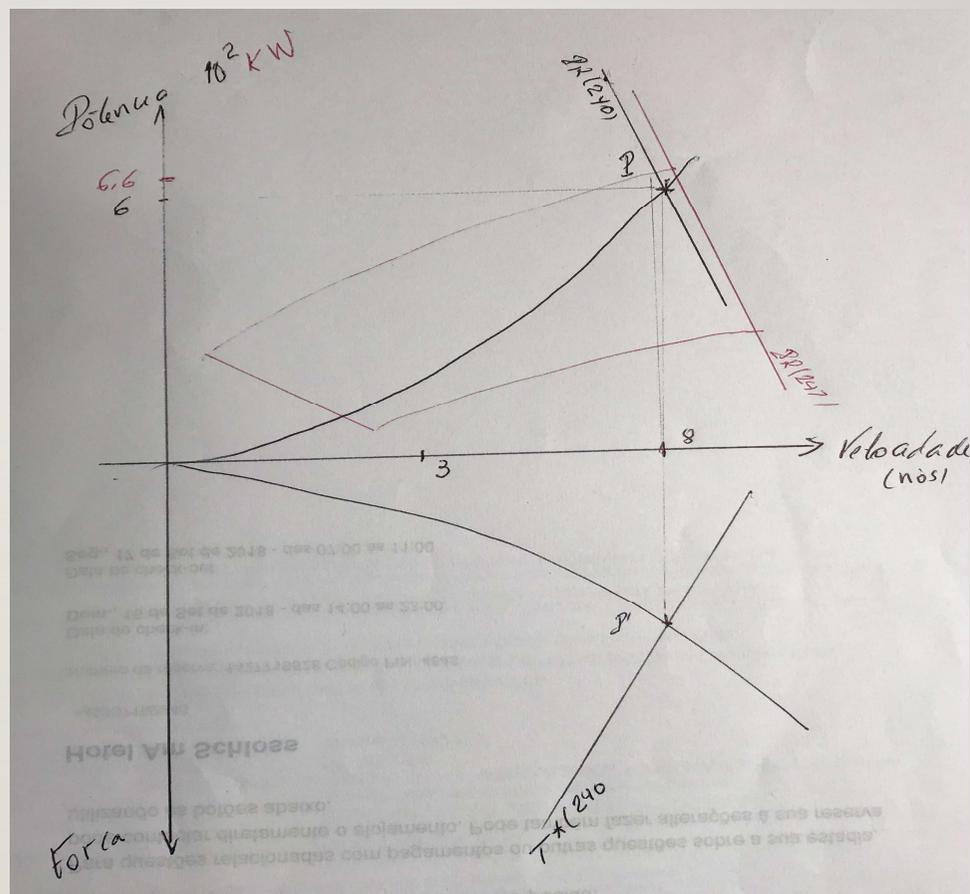
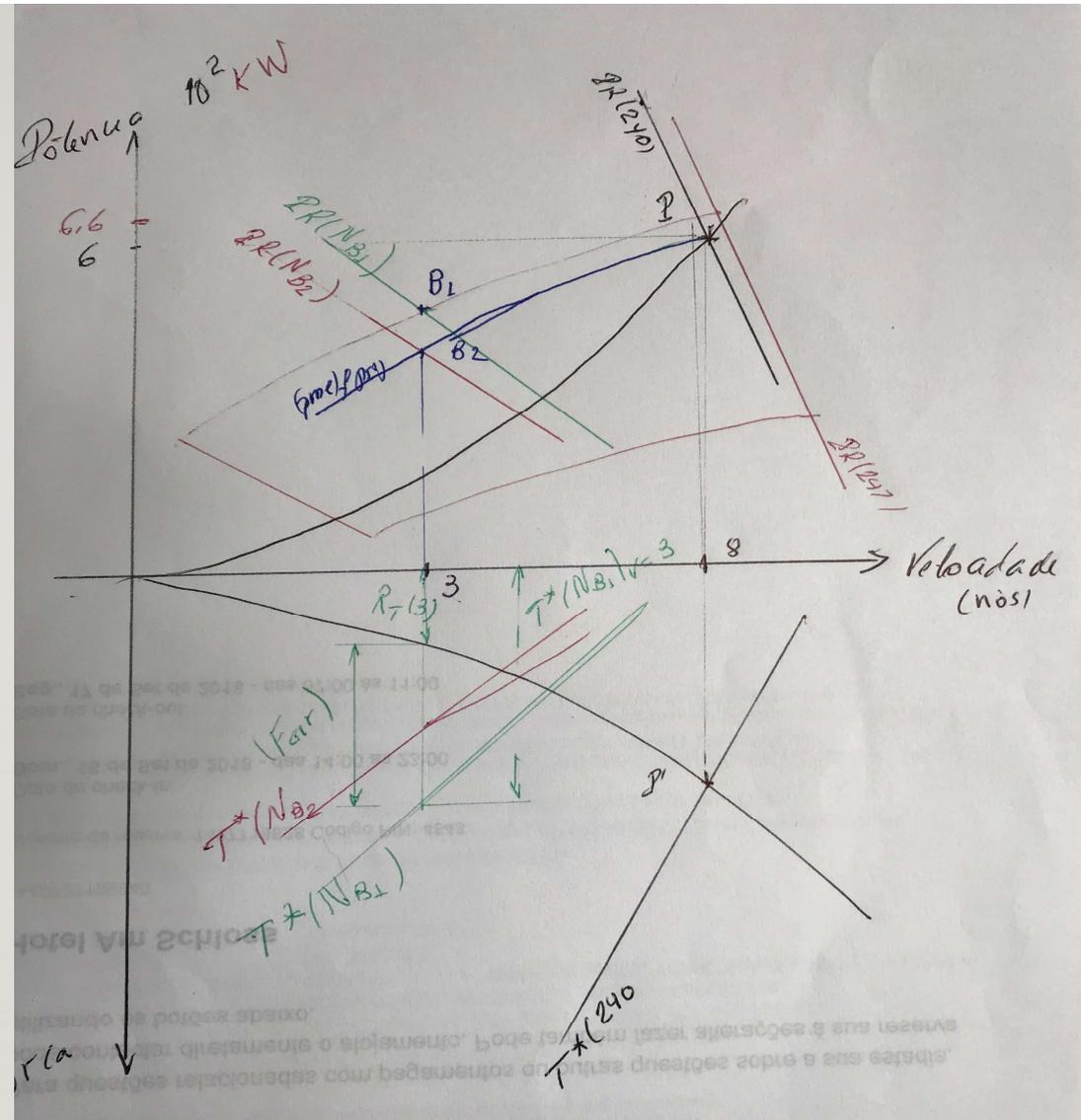


FIGURA 12
 Força de tração na rede limitada pela potência disponível do motor



ANÁLISE DO PROBLEMA

USO DE HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

Representação dos pontos de operação no gráfico do motor

P – ponto de operação em corrida livre

B₂ – ponto de operação em arrasto

(Veja Figura 13)

Como aumentar a força de arrasto?

Aumentando a rotação de operação do hélice

Será que diminuindo o passo do hélice consegue – se atingir esse resultado?

(Veja Figura 14)

FIGURA 13
 Integração
 casco – hélice –
 motor com
 hélice de passo
 fixo

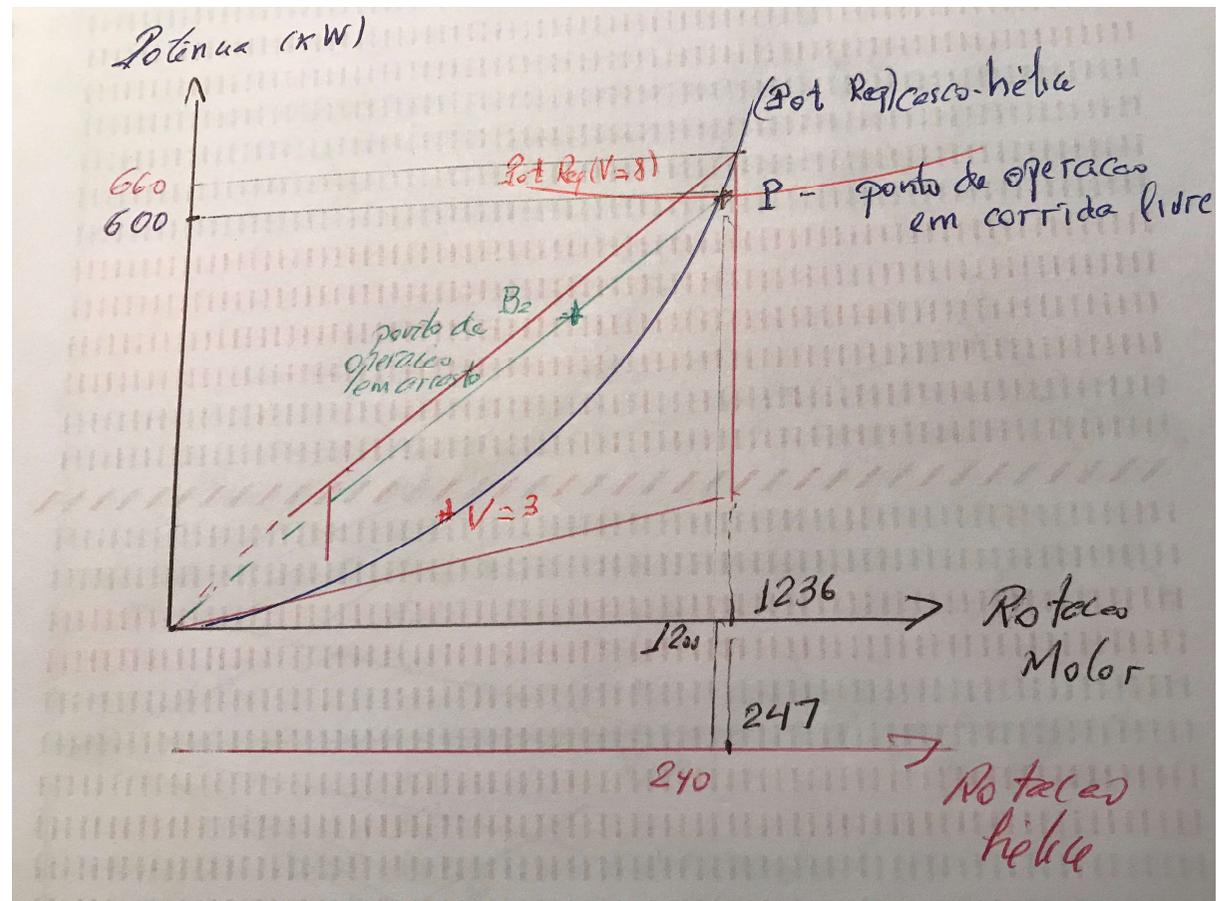
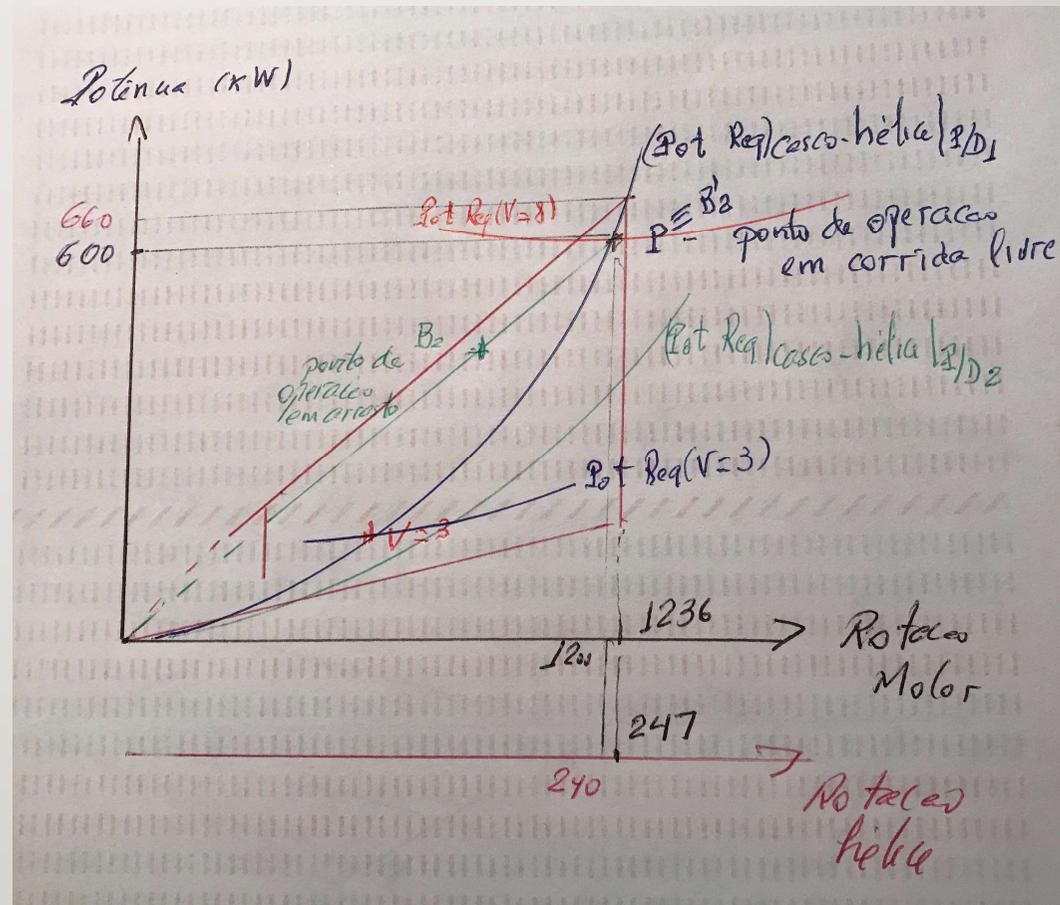


FIGURA 14
 Integração casco –
 hélice – motor com
 hélice de passo
 controlável
 Representação no
 gráfico do motor



ANÁLISE DO PROBLEMA

USO DE HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

UTILIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO

1) Considera-se que a condição de corrida livre é atendida com a razão P/D_1 do hélice

2) Como deseja-se que o motor opere em arrasto em uma rotação maior, rotação de projeto, de modo que o hélice possa absorver a potência normal do motor, deve-se reduzir o passo:

$$P/D_2 < P/D_1$$

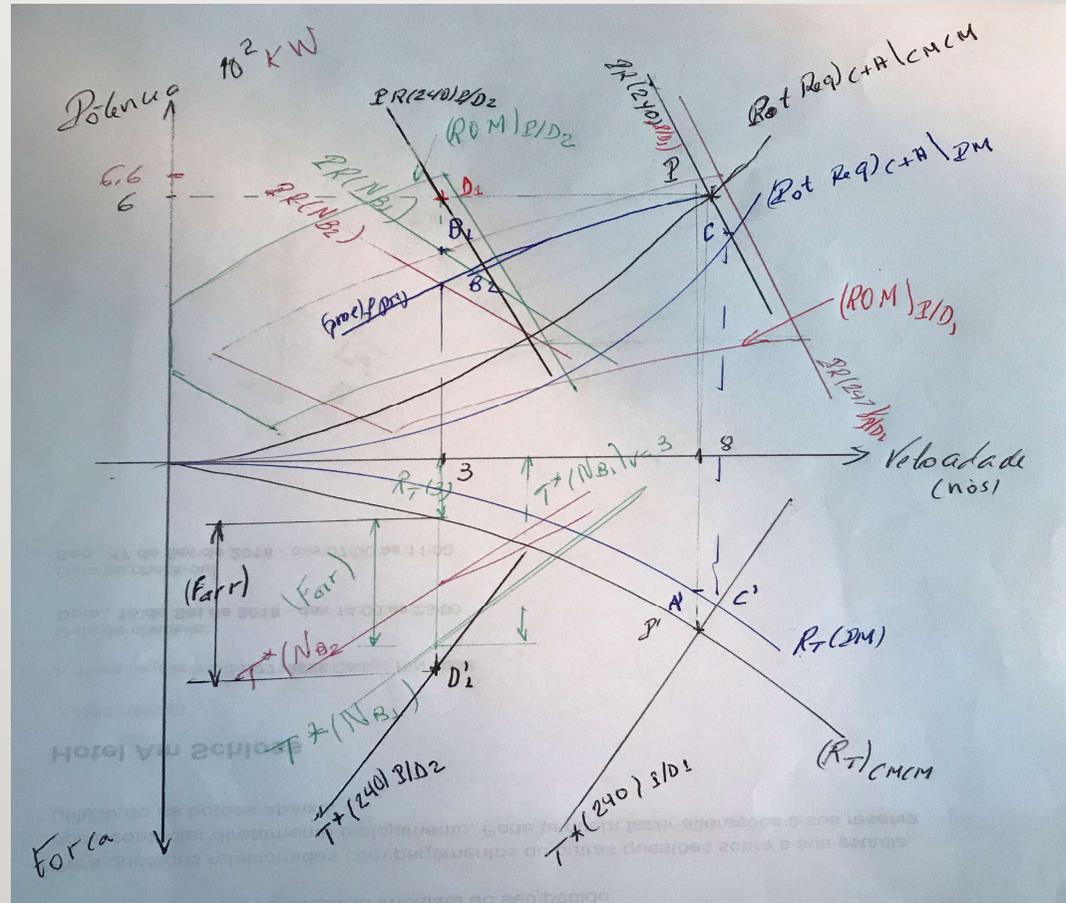
ANÁLISE DO PROBLEMA

USO DE HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR A FORÇA DE ARRASTO

- 1) A redução do passo deve ser tal que o ponto de projeto do motor se desloque para a esquerda no gráfico, situando-se na velocidade de 3 nós
- 2) Assim, a região de operação do motor se desloca para a esquerda
- 3) O ponto de operação em arrasto passa a ser o ponto D_1 no gráfico de potência
- 4) Desenha-se no gráfico de força a curva de empuxo líquido para rotação 240 rpm e razão P/D_2
- 5) Sobre esta curva para $V = 3$ nós marca – se o ponto D'_1
- 6) Subtraindo–se do empuxo a resistência ao avanço para a velocidade de 3 nós obtém–se o valor da força de arrasto

FIGURA 15
 Integração casco
 – hélice – motor
 com hélice de
 passo controlável
**Representação no
 diagrama de
 integração**



EXEMPLO DE APLICAÇÃO

EXERCÍCIO

28/05

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, 18 nós, é requerida uma potência de máquina 8.000 kW à rotação 110 rpm. Foi selecionado, portanto, um motor com potência normal 8.000 kW à rotação 110 rpm.

Em outra condição de operação, com deslocamento 15.000 toneladas, a potência requerida para atingir a velocidade V_1 é 6.500 kW à rotação 110 rpm.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

EXERCÍCIO

28/05 (CONTINUAÇÃO)

- a) Mostrar que o sistema propulsor emprega hélice de passo variável. Dizer qual a relação entre os passos para os deslocamentos de 20.000 (p_1) e de 15.000 toneladas (p_2).
- b) Se, para o deslocamento de 15.000 toneladas, deseja-se aumentar a velocidade, que mudança deve ser feita no passo?
- c) Qual seria o efeito sobre a velocidade do navio para a condição de deslocamento máximo de se operar o hélice com passo p_2 ?

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

EXERCÍCIO

28/05 (CONTINUAÇÃO)

d) Considerando o passo do hélice, p_1 , para deslocamento de 20.000 toneladas, descreva o procedimento para determinar o menor deslocamento que ainda permitiria manter continuamente a velocidade 15 nós.

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

$$\frac{(R_T) \Delta \text{ parcial}}{(R_T) \Delta \text{ proj.}} = \left(\frac{\Delta \text{ parcial}}{\Delta \text{ proj.}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Adotar as hipóteses necessárias à análise da questão com a devida justificação