

DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

GABARITO

ENGENHARIA NAVAL

Questão	Resposta																																								
<p>1 (8 pontos)</p>	<p>1) A curva de estabilidade de uma embarcação pode ser utilizada para analisar a capacidade de restauração da embarcação.</p> <p>O valor da tangente da curva de estabilidade no ponto 0 grau é o próprio GM inicial da embarcação e, neste caso, o valor da tangente é \sin/\cos do ângulo que é aproximadamente igual a 2,23m. (2 pontos)</p> <p>O maior momento de restauração desta embarcação neste calado (ou neste deslocamento) é o ponto máximo desta curva, que ocorre com o ângulo de inclinação de 45 graus. O momento máximo de restauração neste ângulo será de $M_r = 1,82 \cdot 16000 = 29120 \text{ ton} \cdot \text{m}$. (2 pontos)</p> <p>2) Ao receber um momento externo de emborcamento, seja pelo vento ou qualquer agente externo de $M_e = 25.000 \text{ ton} \cdot \text{m}$, este momento, expresso por $GZ \text{ (m)} \cdot 16000 \text{ (ton)}$, resultará em $GZ = 1,562 \text{ m}$ que, de acordo com a curva apresentada, indica um ângulo de inclinação de 33 graus. (4 pontos)</p> <div data-bbox="365 981 1125 1429" style="text-align: center;"> <p>Curva de Estabilidade Estática p/ Navio Carregado em Chegada</p> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <caption>Dados da Curva de Estabilidade Estática</caption> <thead> <tr> <th>Ângulo (graus)</th> <th>Braço (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,36</td></tr> <tr><td>15</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>20</td><td>0,72</td></tr> <tr><td>25</td><td>0,90</td></tr> <tr><td>30</td><td>1,08</td></tr> <tr><td>35</td><td>1,26</td></tr> <tr><td>40</td><td>1,44</td></tr> <tr><td>45</td><td>1,82</td></tr> <tr><td>50</td><td>1,70</td></tr> <tr><td>55</td><td>1,58</td></tr> <tr><td>60</td><td>1,46</td></tr> <tr><td>65</td><td>1,34</td></tr> <tr><td>70</td><td>1,22</td></tr> <tr><td>75</td><td>1,10</td></tr> <tr><td>80</td><td>0,98</td></tr> <tr><td>85</td><td>0,86</td></tr> <tr><td>90</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table> </div>	Ângulo (graus)	Braço (m)	0	0,00	5	0,18	10	0,36	15	0,54	20	0,72	25	0,90	30	1,08	35	1,26	40	1,44	45	1,82	50	1,70	55	1,58	60	1,46	65	1,34	70	1,22	75	1,10	80	0,98	85	0,86	90	0,00
Ângulo (graus)	Braço (m)																																								
0	0,00																																								
5	0,18																																								
10	0,36																																								
15	0,54																																								
20	0,72																																								
25	0,90																																								
30	1,08																																								
35	1,26																																								
40	1,44																																								
45	1,82																																								
50	1,70																																								
55	1,58																																								
60	1,46																																								
65	1,34																																								
70	1,22																																								
75	1,10																																								
80	0,98																																								
85	0,86																																								
90	0,00																																								

2
(8 pontos)

1) Considere que:
Altura metacêntrica transversal = GMt
Raio metacêntrico transversal = BMt

O raio metacêntrico transversal pode ser calculado como:
 $BMt = I_{at}/V = (LB^3/12)*(1/V)$
(2 pontos)

A altura metacêntrica transversal pode ser calculada como:
 $GMt = BMt + KB - KG$
Onde:
 $KB = d/2$
 $KG = 3d/2$

$GMt = LB^3/12V + d/2 - 3d/2$
 $GMt = LB^3/12(A_t*L) - d$
 $GMt = B^3/12(A_t) - d$
(2,0 pontos)

Onde $A_t = 11B*d/12$
(2,0 pontos)

2) Ao considerar valores numéricos na questão temos:

$BMt = (40)^3/12(11*40*12/12)$
 $BMt = 12,1211m$

$GMt = 12,1211 - 12 = 0,1211m$
 $GMt = 0,1211 m > 0$ portanto estável

(1,0 ponto)

3) Para $KG = d+s$

Temos $GMt < 0$, instável

(1,0 ponto)

3
(8 pontos)

Determinação do calado T: a embarcação carregada desloca 60 toneladas ou $V = 60 \text{ m}^3$ de água. Igualando-se ao volume submerso dos cascos do catamarã: $V=2(L*B*T)$, logo $T = 60 / (2*16*3) = 0,625\text{m}$. Portanto, o centro de carena é $KB= 0,3125\text{m}$. **(1,5 pontos)**

Sabemos que o teste de inclinação longitudinal resultou em 2 graus de trim para um deslocamento de carga de 0,7m à vante da meia nau. Vamos usar esta informação para determinar o centro de gravidade.

Cálculo da altura metacêntrica longitudinal:

$$GML = w*d / (\Delta * \tan\Phi) = 40\text{ton} * 0,7\text{m} / (60\text{ton} * \tan 2) = 13,36\text{m}$$

(1,0 ponto)

Cálculo do raio metacêntrico longitudinal:

$$BML = I_L/V = 2(BL^3/12)/V = 2 * (3*16^3/12)/60 = 34,13\text{m}$$

(1,0 ponto)

Cálculo do centro de gravidade:

$$KG = KB + BML - GML = 0,3125 + 34,13 - 13,36 = 21,08\text{m}$$

(1,0 ponto)

Aplicando este resultado ao teste de inclinação transversal:

$$BMT = I_T/V = 2(LB^3/12 + LB C^2/4)/V = 2*(16*3^3/12 + 16*3*(12^2/4))/60 = 58,8\text{m}$$

(1,0 ponto)

Cálculo da altura metacêntrica transversal:

$$GMT = KB + BMT - KG = 0,3125 + 58,8 - 21,08 = 38,03$$

(1,0 ponto)

A distância transversal que causará um ângulo de banda de 3 graus é determinada por

$$dT = (\Delta GMT * \tan\theta) / w = 60 * 38,03 * \tan(5) / 40 = 4,99\text{m}$$

(1,5 pontos)

A carga deve ser colocada a uma distância menor que 4,99m da linha de centro para que o ângulo de banda seja menor que 5 graus.

<p>4 (8 pontos)</p>	<p>a) Willian Froude dividiu a resistência total em duas parcelas: resistência de atrito e resistência residual. A primeira parcela é devida à tensão tangencial na camada limite, e a existência de viscosidade d'água. A segunda parcela é devida à distribuição de pressão ao longo do casco devido à geração de ondas e à forma geométrica do casco. Froude testou vários modelos de navios de dimensões reduzidas e verificou que a parcela de resistência residual (de variação de pressão) não alterava com o tamanho do modelo reduzido, ou com o navio real; porém, a parcela devida ao atrito que depende da área da superfície do casco varia com o tamanho do modelo. (3,5 pontos)</p> <p>b) Para navios tanque, devido à baixa velocidade, a parcela de atrito é preponderante. (1,5 pontos)</p> <p>c) Para navios de alta velocidade, a parcela de resistência residual é preponderante. (1,5 pontos)</p> <p>d) Para submarinos, a parcela de atrito é preponderante (1,5 pontos)</p> <p>Eventualmente, para ser mais preciso, embora não tenha sido proposto por Froude, pode-se considerar 3 parcelas de resistência na questão a): atrito, forma, de onda, em que as duas últimas compõem a resistência residual.</p> <p>Neste caso, as respostas de b), c) e d) serão: b) atrito e forma c) onda e forma d) atrito e forma</p>
<p>5 (8 pontos)</p>	<p>a) Para que haja semelhança dinâmica entre o modelo e o protótipo, as forças hidrodinâmicas devem ter o mesmo comportamento. Logo o número de Froude deve ser o mesmo para os dois casos, protótipo e modelo.</p> <p>$P =$ índice para o protótipo; $M =$ índice para o modelo</p> <p>$V_M / (L_M * g)^{-0,5} = V_P / (L_P * g)^{-0,5} \rightarrow V_M / V_P = (L_M / L_P)^{-0,5} \rightarrow V_P = 8 * 1,2 = 9,6 \text{ m/s} = 18,66 \text{ nós. (4,0 pontos)}$</p> <p>b) Ao considerar R_{TM}, Resistencia total medido do modelo pode-se considerar:</p> <p>1- $C_{TM} = R_{TM} / (1/2 \rho_M V_M^2 S_M)$</p> <p>Onde R_{TM} = resistencia total do modelo medida no tanque para velocidade V_M ρ_M = densidade da água doce V_M = velocidade do modelo S_M = Área molhada do modelo (pode ser estimado utilizando formulação aproximado)</p> <p>2- Calcular o coeficiente de resistência ficcional do modelo C_{FM} usando linha de correlação do modelo ITTC-57 (figura 2) para velocidade V_M.</p> <p>$C_{FM} = 0,075 / (\log_{10} Rn_M - 2)^2$</p>

Onde $Rn_M = (V_M \cdot L_M) / \nu_M$ – número de Reynolds do modelo onde

V_M = Velocidade do modelo

L_M = comprimento do modelo

ν_M = viscosidade cinemática da água doce

3-Calcular a resistência residual C_{RM} para velocidade V_M :

$$C_R = C_{TM} - C_{FM}$$

Note que a resistência C_R é mesmo para modelo e protótipo

4-Calcular o coeficiente de resistência ficcional do protótipo C_{FP} usando linha de correlação do modelo ITTC-57 (figura 2) para velocidade V_P .

$$C_{FP} = 0,075 / (\log_{10} Rn_P - 2)^2$$

Onde $Rn_P = (V_P \cdot L_P) / \nu_P$ – número de Reynolds do protótipo onde

V_P = Velocidade do protótipo

L_P = comprimento do protótipo

ν_P = viscosidade cinemática da água do mar

5-Calcular o coeficiente de resistência total do protótipo de casco limpo

$$C_{TP} = C_{FP} + C_R$$

6-Adicionar Coeficiente de Resistencia Incremental C_I em C_{TP} que varia de navio para navio.

7-Calcular a resistência Total do Navio (protótipo) para velocidade V_P

$$R_{TP} = C_{TP} \cdot 1/2 \cdot \rho_M \cdot V_P^2 \cdot S_P$$

Esta Resistencia do navio é de casco limpo. Poderá ter aumento devido a apêndices do navio.

6
(8 pontos)

a) Usualmente considera-se que a longarina absorve metade da carga de cada unidade de chapeamento do fundo do navio. A outra metade vai para as respectivas longarinas/quilha central. **(0,5 ponto)** Por essa razão, considerando um arranjo de longarinas simétricas em relação a quilha central, a largura de carga (\hat{B}) é igual a distância entre as longarinas ou distância entre longarina e quilha central. **(0,5 ponto)**

b) O vão livre (\hat{L}) é a distância entre ANTEPARAS ou COLUNAS da embarcação. OBS: O candidato que mencionar apenas a distância entre anteparas terá a nota integral. **(1,0 ponto)**. Usualmente, a longarina é considerada BI-ENGASTADA nas anteparas **(0,5 ponto)**, em virtude da simetria do carregamento (antes e após a antepara), que impede a rotação da secção da longarina na posição da antepara. A restrição à rotação da secção configura um vínculo do tipo engaste. **(0,5 ponto)**

c) A pressão ' P_{ext} ' é proporcional à altura da coluna de água que incide sobre as chapas. No caso do fundo do navio, essa altura é igual ao calado da embarcação. **(0,5 ponto)**. Logo: $P_{ext} = g * \rho_{\text{Água}} * \text{Calado}$. No entanto, no caso de uma análise estrutural, o que interessa é a diferença de pressão interna e externa, e o valor da pressão efetiva deve desconsiderar a pressão interna exercida por carga sobre o teto do duplo fundo, ou no interior do duplo fundo, neste caso: $P_{efetiva} = P_{ext} - P_{\text{interior do duplo fundo}} - P_{\text{carga sobre o teto do duplo fundo}}$. **(0,5 ponto)**

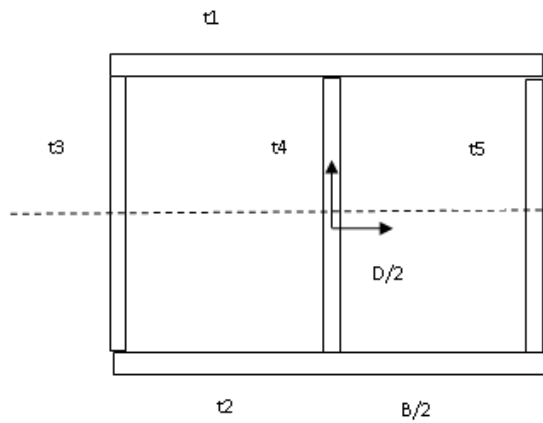
d) Para uma viga bi-engastada, sujeita a carga uniforme, o máximo momento fletor na longarina vale: $M_{\text{max}} = P_{\text{efetiva}} * b * L^2 / 12$. **(1,0 ponto)**. Para uma viga bi-engastada, sujeita a carga uniforme, o máximo momento fletor ocorre junto aos engastes. **(1,0 ponto)**

e) A longarina é considerada DESACOPLADA DOS ELEMENTOS TRANSVERSAIS (no caso, as hastilhas e cavernas). **(1,0 ponto)**

f) Em virtude do desacoplamento dos elementos transversais, o vão livre efetivo é maior, e por essa razão os valores de tensão obtidos utilizando Teoria Clássica de Vigas são MAIORES que os valores obtidos por análises que consideram o acoplamento da quilha com os elementos transversais, como é o caso do Método dos Elementos Finitos. Vale lembrar que a determinação de tensões maiores é um procedimento que vai a favor da segurança e por isso foi e continua sendo amplamente utilizado na análise e projeto de navios. **(1,0 ponto)**

<p>7 (8 pontos)</p>	<p>a) São exemplos de elementos longitudinais: quilha, quilha lateral, escoa, sicorda, antepara longitudinal, perfis leves longitudinais. (2,0 pontos) OBS: Serão considerados os elementos descritos no livro Arte Naval.</p> <p>b) São exemplos de elementos transversais: hastilha, vau, caverna do costado, anel transversal, caverna. (2,0 pontos) OBS: Serão considerados os elementos descritos no livro Arte Naval.</p> <p>c) Estrutura transversal: i) enrijecer o chapeamento; ii) reduzir vão livre de perfis leves longitudinais; iii) aumentar a rigidez torcional da embarcação; iv) aumentar a rigidez à flambagem radial. (2,0 pontos)</p> <p>d) Estrutura longitudinal: i) enrijecer o chapeamento; ii) aumentar a rigidez flexional da embarcação. (2,0 pontos)</p>
-------------------------	---

8
(8 pontos)



a)

$$I_{t1} = 54 \cdot 2^3 / 12 + 54 \cdot 2 \cdot (40/2)^2 = 43236$$

$$I_{t2} = 54 \cdot 3^3 / 12 + 54 \cdot 3 \cdot (-40/2)^2 = 64921,5$$

$$I_{t3} = 1 \cdot 40^3 / 12 + 54 \cdot 1 \cdot (-54/2)^2 = 44699,33$$

$$I_{t4} = 0,3 \cdot 40^3 / 12 = 1600$$

$$I_{t5} = 1 \cdot 40^3 / 12 + 54 \cdot 1 \cdot (54/2)^2 = 44699,33$$

$$I_{TOTAL} = I_{t1} + I_{t2} + I_{t3} + I_{t4} + I_{t5} = 199156,2 \text{ m}^4$$

(3,0 pontos)

b) Linha neutra

$$at1 = 54 \cdot 2 = 108 \quad dt1 = 40/2 = 20$$

$$at2 = 54 \cdot 3 = 162 \quad dt2 = -40/2 = -20$$

$$at3 = 40 \cdot 1 = 40 \quad dt3 = 0$$

$$at4 = 40 \cdot 0,3 = 12 \quad dt4 = 0$$

$$at5 = 40 \cdot 1 = 40 \quad dt5 = 0$$

$$LN = (at1 \cdot dt1 + at2 \cdot dt2 + \dots + at5 \cdot dt5) / (at1 + at2 + \dots + at5) = -2,98$$

(2,0 pontos)

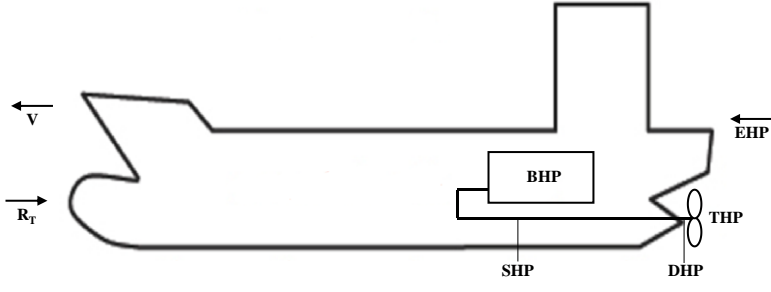
c)

$$M_p = 4 \cdot 10^6 \text{ kNm}$$

$\sigma = M_p \cdot y / I$ onde y é a distância da linha neutra até o convés

$$\text{Sendo } y = 2,98\text{m} + D/2\text{m} = 22,98\text{m} \rightarrow \sigma = 4 \cdot 10^6 \text{ kNm} \cdot 22,98\text{m} / 199156,2\text{m}^4 = 4615,5 \text{ kN/m}^2$$

(3,0 pontos)

<p>9 (8 pontos)</p>	<p>a)</p> <p>EHP = é a potência necessária para mover o navio na velocidade desejada V ($EHP = R_T \cdot V$) (1,5 pontos) DHP = é a potência entregue ao propulsor (1,5 pontos) THP = é a potência produzida pelo empuxo do propulsor (1,5 pontos) BHP = potência produzida pelo motor do navio (1,5 pontos)</p>  <p>b)</p> <p>$EHP = R_T \cdot V_S$</p> <p>$V_A = V_S(1-w)$ $T = R_T/(1-t)$ $\eta_H = (1-t)/(1-w)$ Eficiência do casco $\eta_H = (1-0,20104)/(1-0,4087) = 1,3512$ $BHP = R_T \cdot V_S / (\eta_P \eta_S \eta_H) = 15 \cdot 0,514 \cdot 1871,07 / (0,465 \cdot 0,99 \cdot 1,3512) = 23191,9$ kW (2,0 pontos)</p>
<p>10 (8 pontos)</p>	<p>a) Um navio com velocidade $V=35$ nós, é considerado um navio de alta velocidade. Como opções de sistemas propulsivos: Pode ser um sistema de hélice ou hidrojato. Justificativa: Uma embarcação militar com esta velocidade deve ser de planeio ou semi-planeio onde a popa do navio ficaria mais afundada com trim. Atualmente, o sistema hidrojato tem sido mais utilizado por não ter nenhuma estrutura fora do casco, mas ainda há muitas embarcações com hélices projetadas para alta velocidade. Azimutal não é muito utilizado por ter estrutura fora do casco que aumenta a resistência em alta velocidade. (4,0 pontos)</p> <p>b) Pode-se utilizar qualquer dos sistemas mencionados, motor diesel, motor elétrico ou turbina. Justificativa: normalmente, para hidrojato tem sido adotado turbina por ter alta rotação e eficiência apesar de dimensões menores. Por outro lado, considerando a controlabilidade, o motor elétrico tem sido utilizado apesar do custo maior comprado aos motores de combustão a diesel. Mas, para estas velocidades de 35 nós, hoje, existem motores diesel de alta potência de menor porte. (4,0 pontos)</p>