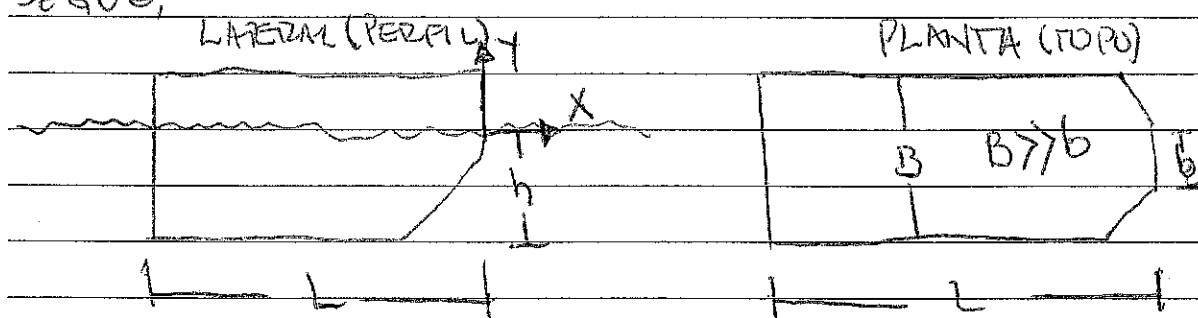


QUESTÃO 1 (PONTO 2):

O ESTUDO DA FORMAÇÃO DE ONDAS GERADAS PELA INTERAÇÃO ENTRE UM FLUIDO E UM OBJETO SÓLIDO EM MOVIMENTO, COMO UMA EMBARCAÇÃO, PODE SER ABORDADO PELA MODELAGEM DE TEORIA LINEAR DE ONDAS, BASEADA NO MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES, O QUAL PERMITE DESCREVER O MOVIMENTO DE UM SISTEMA DE PARTÍCULAS NO ESPAÇO (x, y, z) E NO TEMPO (t) ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DE ONDA. ASSIM, COMEÇAREMOS PELAS DEFINIÇÕES BÁSICAS ATÉ CHEGAR NA EQ. DE ONDA E FINALMENTE SUA DESCRIÇÃO PARA UMA GEOMETRIA ESPECÍFICA DE UMA EMBARCAÇÃO COMO MOSTRADO NA FIGURA QUE SEGUE,



A VARIAÇÃO TEMPORAL DE UMA PARTÍCULA SOJEITA A UM MOVIMENTO OSCILATÓRIO PODE SER DADA PELA EQUAÇÃO

$$z(t) = z_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{ONDE}$$

$z_0 \Rightarrow$ AMPLITUDE DA PARTÍCULA EM RELAÇÃO A UM EIXO DE REFERÊNCIA DADA EM [m]

$\omega \Rightarrow$ FREQUÊNCIA ANGULAR [rad/s]

$\varphi \Rightarrow$ ÂNGULO DE FASE [rad]

SEM PERDER RIGOR DA DERIVAÇÃO PODEMOS ASSUMIR $\varphi = 0$ E CALCULAR A PRIMEIRA DERIVADA DE $z(t)$, OBTENDO

Handwritten signature



Engenharia Naval
e Oceânica



$$\frac{dz}{dt} = -z_0 \sin(\omega t) = V(t), \text{ SENDO ESTA A VELOCIDADE.}$$

REALIZADO A SEGUNDA DERIVADA OBTÉMOS A ACELERAÇÃO DA PARTÍCULA

$$\vec{a} = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = -z_0 \omega^2 \cos(\omega t)$$

~~$\vec{a} = -z_0 \omega^2 \cos(\omega t)$~~

$$\boxed{\vec{a} = -z_0 \omega^2 \cos(\omega t)}$$

AO DEFINIR T COMO O PERÍODO EM QUE A PARTÍCULA COMEÇA A REPETIR SUA TRAJETÓRIA PODEMOS ANALISAR O ARGUMENTO DE $z(t)$ EM DOIS TEMPOS $t \in T$ DA SEGUINTE FORMA:

$$z(t) = z(t+T)$$

$$\omega t = \omega(t+T) \Rightarrow \text{ASSIM PARA QUE A IGUALDADE SEJA VÁLIDA DENTRO DO ARGUMENTO DA FUNÇÃO}$$

TEMOS QUE PARA ωT IGUAL À UNIDADE QUE $\omega T = 2\pi$ ABOR-
TANDO $\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \Rightarrow$ A FREQUÊNCIA ANGULAR, EM FUNÇÃO DO PERÍODO

INTRODUZINDO AS VARIÁVEIS DE ESPAÇO EM $z(t)$ TEMOS UMA FUNÇÃO $A(x, t, z, t) = A(x, t)$, LOGO A PARTÍCULA PODE SER DESCRITA DA SEGUINTE FORMA:

$$A(x, t) = A_0 \cos(kx - \omega t + \varphi), \text{ ADOPTANDO } \varphi = 0 \text{ E ANALISANDO O ARGUMENTO DA FUNÇÃO PARA } x = x_0, x = x_0 + \lambda \text{ E OS TEMPOS } t \in T \text{ TEMOS}$$

$$A(x_0, t) = A(x_0 + \lambda, t + T)$$

~~$kx_0 - \omega t = kx_0 + k\lambda - \omega t - \omega T$~~

$$kx_0 - \omega t = kx_0 + k\lambda - \omega t - \omega T$$

$$\boxed{\lambda = \frac{\omega T}{k}} \Rightarrow \text{COMPRIMENTO DE ONDA}$$

DECO



IGUALANDO O ARGUMENTO DA FUNÇÃO A UMA CONSTANTE $C=0$ OU SEJA AONDE $A(x,t)$ É MÁXIMA, O QUE IMPLICA QUE SUA DERIVADA IGUAL A ZERO ASSIM:

$$kx - \omega t = 0$$

$$k \frac{dx}{dt} - \omega = 0 \Rightarrow kc - \omega = 0, \boxed{c = \frac{\omega}{k}}$$

$c \Rightarrow$ VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DA ONDA.

c , PODE SER REESCRITA ~~como~~ USANDO A DEFINIÇÃO DE λ

$$c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda k / T}{k} \Rightarrow \boxed{c = \frac{\lambda}{T}} = \lambda f$$

OS RESULTADOS ANTERIORES PERMITEM JUNTOS COM A DEFINIÇÃO, DE UMA FUNÇÃO POTENCIAL $\phi(x, y, z, t)$ E A TRANSFORMADA DE LAPLACE FORMULAR A EQ. DE ONDA.

SEJAM u E v AS VELOCIDADES LOCAIS NAS DIREÇÕES HORIZONTAL E VERTICAL RESPECTIVAMENTE ASSOCIADAS AO MOVIMENTO DE UMA ONDA QUE SE PROPAGA NA DIREÇÃO x , LOGO

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y}$$

IMPOZUO UM ESCOAMENTO INCOMPRESSÍVEL E IRROTACIONAL TEMOS -

$$\frac{\partial \phi}{\partial x \partial y} = 0$$

O QUE RESULTA NA EQ:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{EQUAÇÃO DE} \\ \text{ONDA} \end{array} \right.$$

ESTA EQUAÇÃO NÃO LINEAR DE 2ª ORDEM PODE SER LINEARIZADA AO IMPOR HIPÓTESES NO DOMÍNIO E NAS CONDIÇÕES DE CONTOURNO, ASSIM NO EXEMPLO DA FIGURA AONDE $B \ll L$

PCOP



Engenharia Naval
e Oceânica

CONCURSO PÚBLICO PARA PROFESSOR ADJUNTO

Setor de Hidrodinâmica - MC004



COPPE
UFRJ



Engenharia Naval
e Oceânica



A SOLUÇÃO DA E.Q. DE ONDA, AINDA É DADA EM TERMOS DA FUNÇÃO OSCILATORIA $\sin$ OU $\cos()$ MAS DESTA VEZ A SUA CORRESPONDENTE FUNÇÃO HIPERBÓLICA

ESSA SOLUÇÃO LEVA A UM RESULTADO DA FREQUÊNCIA ANGULAR (ω) EM TERMOS DE GRANDEZAS FÍSICAS

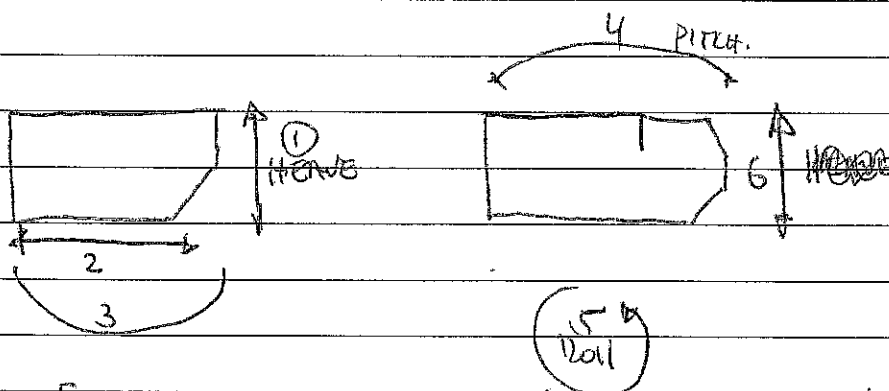
ATRELADAS DESCRIÇÃO PRÓPRIA DA ONDA, FACILITANDO A INTERPRETAÇÃO ENTRE O MOVIMENTO DA ONDA E UM OBJETO SÓLIDO

PCR



QUESTÃO 2 (PONTO 5)

AS FORÇAS RESULTANTES EM SISTEMAS OCEÂNICOS SÃO DADAS PELA INTERAÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA COM SEIS GRAUS DE LIBERDADE ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO, QUE PODEM SER PUDOS OU COMBINADOS, NAS TRÊS COORDENADAS ESPACIAIS. ASSIM, PARA DEFINIR DE MODO GLOBAL AS FORÇAS QUE AGEM NO SISTEMA É CONVENIENTE LEVAR EM CONSIDERAÇÃO A MASSA DO SÓLIDO (A ESTRUTURA) E O TENSOR DE INÉRCIA DO MESMO, CARREGANDO AS INFORMAÇÕES NÃO SÓ HIDRODINÂMICAS DO PROBLEMA COMO TAMBÉM A CINEMÁTICA DO SISTEMA. ASSIM, DEFINIMOS A FUNÇÃO $\xi(t)$ QUE CARREGA A INTERAÇÃO DOS 6 GRAUS DE LIBERDADE NO TEMPO



$$\xi(t) = [\xi(1) + \xi(2) + \xi(3) + \xi(4) + \xi(5) + \xi(6)]^T$$

AO FAZERMOS UM BALANÇO DE FORÇA E MOMENTO NO SISTEMA TEMOS:

$$M\ddot{\xi} + C\dot{\xi} + K\xi = F^{(1)} + F^{(2)} + M$$

$M\ddot{\xi} \Rightarrow$ CARREGA AS INFORMAÇÕES DA ACELERAÇÃO (QUANTIDADE DE MOVIMENTO DEVIDO ÀS FORÇAS)

$C\dot{\xi} \Rightarrow$ VELOCIDADE GERADA PELAS FORÇAS RESULTANTE

$K\xi \Rightarrow$ POSIÇÃO DO OBJETO NUM SISTEMA DE REFERÊNCIA

DEAR

Engenharia Naval
e Oceânica

AS VARIÁVEIS M , C e K SÃO MATRIZES DEPENDENTES DO TENSOR DE INERÇIA.

O LADO DIREITO DA EQUAÇÃO REPRESENTA FORÇAS DE PRIMEIRA ORDEM $\sim (01)$ ASSOCIADAS A EFEITOS VISCOSES RELATIVOS À HIDRODINÂMICA DO SISTEMA ($F^{(1)}$), JÁ, $F^{(2)}$ CORRESPONDE A EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM COMO FORÇAS EXTERNAS (GRAVIDADE, INERÇIA) E DE FORMA ESPECÍFICA, H DESCREVE FORÇAS EXTERNAS DE ANCORAGEM OU PROPULSÃO.

SIMPLIFICANDO O PROBLEMA PARA UM SISTEMA ONDE AS FORÇAS DE 1ª ORDEM POSSUAM MAIOR IMPORTÂNCIA TEMOS QUE A PRESSÃO LINEAR PARA UMA EMPARCAÇÃO DE COMPRIMENTO L E LARGURA B ONDE $B \gg b$ (b = LARGURA DA DOCA EMPARCAÇÃO) DO POPO.

$$F_x^{(1)} = \int_0^L p(x) b \, dx$$

VERIFICASSE A RELEVÂNCIA E COMPLEXIDADE DA MODELAGEM DE FORÇAS EM SISTEMAS OCEÂNICOS. OS SISTEMAS ANCORADOS EVIDENCIAM UM GRAU DE LIBERDADE ADICIONAL NA MODELAGEM, O QUE SUGERE MAIOR COMPLEXIDADE NA SOLUÇÃO. UMA FORMA/ABORDAGEM DE TRATAR ESSA DIFICULDADE É MODELAR O EFEITO DA ANCORAGEM COMO UM SISTEMA DE AMORTECIMENTO EQUIVALENTE COM CARACTERÍSTICAS CONHECIDAS.

DCC



QUESTÃO 3 (PONTO 9)

OS COEFICIENTES DE MASSA SURTEM NA MODELAGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS FLUTUANTES COM PRESENÇA DE FLUIDOS EM SUPERFÍCIES LIVRES, O QUE DA ORIGEM ÀS ONDAS, PARA EXPLICAR E LEVAR EM CONSIDERAÇÃO OS EFEITOS DE INÉRCIA (QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR E ANGULAR) E DIFUSÃO NA INTERAÇÃO FLUIDO-ESTRUTURA COM EFEITOS OSCILATORIOS, ASSIM A MASSA ADICIONAL É ENTENDIDA NA MODELAGEM COMO A MASSA TEÓRICA QUE ~~OS~~ O SISTEMA TERIA PARA GERAR A QUANTIDADE DE MOVIMENTO ADICIONAL ~~QUE~~ PRESENTE NUMA CONDIÇÃO ESPECÍFICA, POR EXEMPLO A SUPERPOSIÇÃO DE VMA OU VARIAS ONDAS SOMADAS À GRAVITAÇÃO QUE ENCONTRARISE SUSENTA UMA ESTRUTURA OFFSHORE. JÁ, O AMORTECIMENTO POR DE RADIAÇÃO ESTÁ ATRELADO A MECANISMOS EXTERNOS QUE UMA ESTRUTURA FLUTUANTE POSSA EXPERIMENTAR EM TERMOS DE FORÇA, O MÉTODO MAIS UTILIZADO, ANCORAGEM DE DIVERSOS TIPOS.

COMO MOSTRADO NA QUESTÃO 2 A MODELAGEM SE BASEIA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO 6 GRAUS DE LIBERDADE DA ESTRUTURA, JUNTO COM A MASSA E SUAS CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS.

A QUANTIFICAÇÃO DESTES COEFICIENTES É FEITA VIA EXPERIMENTAL E NÚMERICA PARA CALIBRAÇÃO DE MODELOS ESPECÍFICOS.

ISTO, AINDA HOJE, É UMA GRANDE LIMITAÇÃO DEVIDO A QUE AS ESCALAS INDUSTRIAIS SÃO MUITO DIFERENTES DAS ENCONTRADAS NO LABORATÓRIO, AINDA ^{QUE} SEMELHANÇA HIDRODINÂMICA DESTES PROBLEMAS É COMPLEXA DEVIDA A NÃO LINEARIDADE NAS ESCALAS. O MESMO PROBLEMA É VIVENCIADO NA

PCR



Engenharia Naval
e Oceânica

CONCURSO PÚBLICO PARA PROFESSOR ADJUNTO

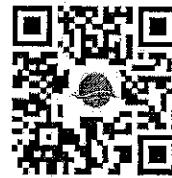
Setor de Hidrodinâmica - MC004



COPPE
UFRJ



Engenharia Naval
e Oceânica



ÁREA NUMÉRICA, AO ESTAS SIMULAÇÕES ~~ESTÃO~~ ESTÃO
LIMITADAS À SIMPLIFICAÇÃO DA GEOMETRIA E TAMANHO DO
DOMÍNIO, PRINCIPALMENTE POR LIMITAÇÕES/GARGALHOS
COMPUTACIONAIS.

PCP