



Questão, 1 - ponto 03 : (1/2)

Turbinas Eólicas offshore pode ser dividida, em duas categorias baseado em Tipo de plataformas Fixas e Flutuantes.

Até as profundidades 50-60 m as plataformas Fixas podem ser utilizadas apresentando, dependendo da profundidade um custo menor de instalação. a partir de 60 m de profundidade as plataformas fixas não são economicamente e tecnicamente viáveis. as plataformas Flutuantes são soluções por essas profundidades. as plataformas fixas são comercializada desde 1990-91, onde foi instalada a parque Uindby. As plataformas Flutuantes está num fase ~~fase~~ de maturidade tecnológica avançada de TRIS (considerando o padrão de nível de maturidade Tecnológica da NASA). Há diferente projetos pilatas



conectados à rede elétrica e vários projetos na fase de planejamento.

Conforme a Agência Internacional de Energia (IEA), a Indústria de ~~o~~ óleo e gás offshore é responsável pelo 20% das emissões de gases de efeito estufa do setor de energia. A descarbonização desse setor pode exercer um papel importante no cenário de transição energética.

A descarbonização desse setor pode ser realizada considerando três escapes 1, 2 e 3.

escape 1 é relacionado às emissões na upstream das atividades de exploração e produção de petróleo. A maior parte dessas emissões é devida a queima da cin natural na turbina a gás para gerar energia ~~em~~ nas FPSOs e plataformas.

escape 2 é relacionado às atividades de mid-stream de operação, manutenção, transporte etc



e escopo 3 inclui as atividades indiretas relacionadas

por exemplo a refina de petróleo etc.

Fontes renováveis offshore, em geral, podem ser aproveitadas para gerar energia limpa e renovável para as atividades de O&G offshore.

Peculiaridade do Brasil:

O Brasil tem uma oportunidade única em termos de sinergia entre G&L offshore e O&G offshore. Essa sinergia pode ser sinergia tecnológica e sinergia energética.

Sinergia tecnológica se dar através da transferência de conhecimento e experiência. O Brasil é uma referência mundial na exploração e produção de petróleo. Toda essa

experiência pode ser aplicada no setor de G&L offshore no Brasil;

Sinergia energética: Brasil possui um potencial significativo da

G&L offshore nas regiões onde tem grande parte das atividades de O&G offshore. Bacia de Santos e Campos.



Essa sinergia poder aproveitada para descarbonizar ~~esse~~

esse setor.

vantagens:

A vantagem óbvia é a descarbonização desse setor

através do fornecimento de energia limpa e renovável.

~~ser~~ certamente, isso ~~contribui~~ contribui para o cenário de

transição energética brasileiro e mundial.

mas essa sinergia não é somente sobre a transição

energética. em alguns casos, fornecer energia local

para uma certa atividade de O&G offshore pode

viabilizar a economia da operação. Por exemplo, nas campos

maduras onde a produção de gás cai e é necessário

um processo de recuperação de óleo. esse processo envolve

a utilização de bombas de injeção de gás ou água

com consumo em torno de 8-MW cada bomba. A falta de

espaço físico no FPSO e a necessidade de bombas



~~Questão~~ Questão 1, part 03: (2/2)

de alta potência faz com que a geração de energia local através das turbinas eólicas offshore viabilize a continuação da operação sem comprometer a economia da operação.

Desafios:

A maior desafio envolvido é a profundidade das áreas de instalação. quase 80% das atividades de eólica do Brasil acontecem na região pre-Sul com as profundidades entre 700 e 2500 (3000) m. os projetos pilotos de turbinas flutuantes estão instaladas nas profundidades de até 300 metros. Na medida que a profundidade aumenta os custos de ancoragem ficam mais pesados e mais custosos.



~~nessas~~ nessas profundidades as linhas de corrente convencionais  
não serão factíveis. Materiais alternativos como  
fibra ~~de~~ sintética, poliéster, nylon etc podem ser  
utilizadas para resistir as forças da linha de ancoragem.  
~~Outro~~ outro desafio importante é associado à conexão do sistema  
elétrica. Trata-se de um sistema de geração isolado  
para ser conectado a um, por exemplo, FPSO onde a  
demand é 24 horas durante a ano inteiro.

A variabilidade do recurso complica o fornecimento  
contínuo de energia. ~~as~~ os sistemas de  
(Battery Energy storage system) BESS são fundamentais  
para gerenciar e controlar as frequências conforme  
a consumo. ~~Esses sistemas~~ un custo adicional  
será imposto devido aos esses sistemas elétricos.  
há alguma demanda específicas como bombament (injeção)



de água onde o processo é insensível ~~às~~ às  
variações de energia.

A sinergia entre Colica offshore (em geral fontes renováveis  
na oceano) e as atividades de O&G offshore é uma oportunidade  
para ~~o~~ elevar o nível de maturidade tecnológica  
das sistemas renováveis offshore e ao mesmo tempo  
descarbonizar o setor de O&G contribuindo para  
a transição energética. ~~o~~

A descarbonização das atividades O&G offshore leva  
a um produto de baixa carbono que, certamente, ~~será~~ será  
mais valioso no mercado de energia internacional e pode  
criar uma competitividade <sup>econômica</sup> internacional para a empresa.



Questão 2, ponto 05 (1/2)

o projeto de turbinas eólicas offshore é feito considerando 3 principais critérios ~~incluindo~~ incluindo as condições ambientais, confiabilidade e integridade estrutural e a economia do projeto. o projeto das ~~parques~~ parques eólicos offshore deve considerar análises estruturais, processo construtivo, análise hidrodinâmica, processo de instalação, operação e manutenção e descomissionamento.

O&M é normalmente 25% do capex dos parques eólicos.

a redução do custo de O&M pode reduzir significativamente o custo nivelado de energia.

projeto estrutural de uma turbina eólica deve considerar

a integridade estrutural considerando as estados limite estruturais.





Estado limite é a condição além da qual o projeto não satisfaz os requisitos do projeto. os Estados Limites incluem ULS, estado limite último que considera a resistência estrutural do sistema nas condições extremas de carregamento ambiental. FLS, estado limite de Fadiga que considera a resistência estrutural à fadiga no carregamentos cíclicos ea longa da vida útil do sistema. ALS, estado limite Acidental que considera a resistência estrutural no caso de um acidente ou falha no sistema. SLS, estado limite de serviço, que considera o funcionamento da sistema nas condições operacionais.

A análise de integridade é feita considerando as modos de falha como Flambagem, Fadiga, scouring (erosão do solo no caso da turbinas fixas), deformação excessivas, etc.

~~o sistema~~



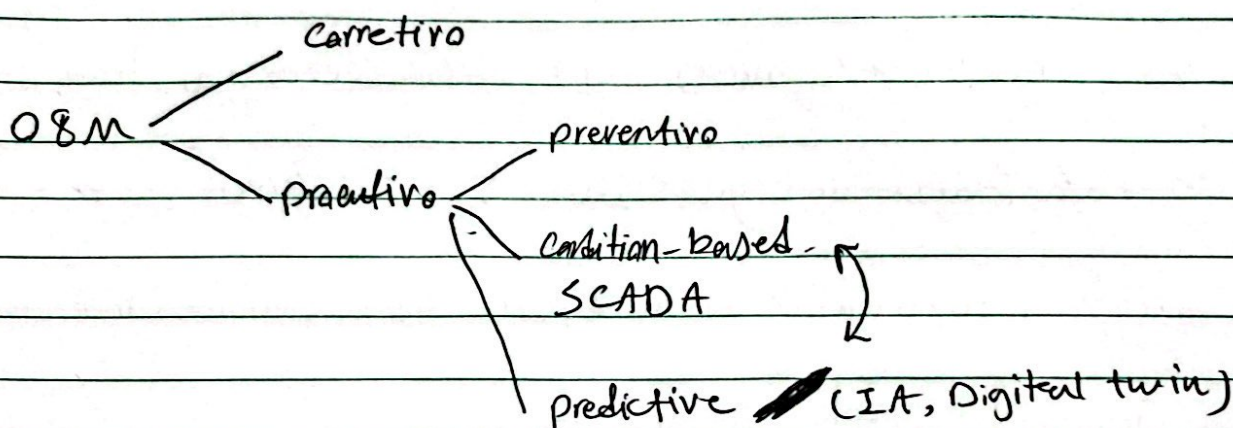
O projeto estrutural ~~de~~ das turbinas eólicas envolve incertezas devido ~~as~~ as metodologias de análise, avaliação de carregamentos ambientais, etc. essas incertezas devem ser consideradas através da análise de confiabilidade.

Análise de confiabilidade trata-se de previsão da probabilidade de violações de estado limite estrutural e pode ser dividida em quatro categorias: I) método determinístico considerando um Fato parcial de segurança, II) considerar ~~o~~ a faixa de variação e um valor médio para cada variável incerta (First-order second-moment), III) usar a distribuição da probabilidade de modo de falha (First-order Reliability-based) (second-order reliability based), (Monte Carlo method). IV) aplicação do método III considerando ~~o~~ a operação e manutenção e ajuste ao longo da vida útil do sistema.



O processo de operação e manutenção é fundamental para garantir a integridade estrutural da sistema.

É fundamental aplicar um processo O&M que possa garantir a produção de um parque eólico evitando falhas graves no sistema que possam interromper a geração de energia.



Conforme a Figura ~~1~~ acima, o processo de O&M pode ser corretivo ou ~~preventivo~~ proativo.

Corretivo → a manutenção é feita quando uma falha é reportada ou observada. a desvantagem é que as falhas graves como superaquecimento do gerador, falha estrutural das pás podem acontecer e interromper o funcionamento do sistema.



Engenharia Naval  
e Oceânica



Questão 2, ponto 5: (2/2)

proativo  $\rightarrow$  esse método pode ser preventivo, ~~o~~  
condition-based ou preditivo.

na método preventivo a manutenção é planejada baseado  
em períodos de tempo ou baseado na geração da perigo  
que indica o nível de deteriorização das componentes.  
~~o~~ não há previsão nesse ~~metodo~~ método. desvantagem  
é que a geração pode ser ~~int~~ interrompido numa condição boa  
de vento ~~se~~ devido a uma manutenção planejada.

condition-based: é um método de manutenção mais eficiente  
ante as condições estruturais são monitoradas através dos  
sensores e análise off-line ou on-line é feita para ~~o~~  
observar a saúde estrutural do sistema e decidir o processo de  
manutenção.



condition monitoring system (CMS) pode ser combinado  
com supervisory control and data analysis (SCADA)  
para uma ~~mais~~ manutenção ~~mais~~ mais sofisticada,  
as processas preditivas podem ser baseadas em  
modelos físicos ou técnicas de inteligência artificial  
~~o digital twin~~ o ~~digital twin~~ (digital twin) de um  
gêmeo digital  
turbina eólica offshore pode ser criado para monitoramento  
da saúde estrutural (integridade) estrutural das turbinas.  
DT (Digital Twin) pode ser criado baseado em técnicas de  
Inteligência artificial como machine learning, Deep learning, etc  
que usam modelos physics-based ~~e~~ e/ou dados observados  
para analisar as respostas estruturais  
pelos sensores. ~~o~~ para prever a integridade estrutural  
através do DT é fundamental uma previsão correta  
das carregamentos ambientais como vento, ondas, corrente etc.  
A partir das carregamentos serão ~~os~~ calculadas  
as forças estruturais nos diferentes componentes da turbina.



~~serão~~ ~~essa~~ As respostas estruturais da turbina eólica serão ~~definidas~~ definidas pelo modelo DT.

a principal vantagem de uso das técnicas de IA e DT

é a capacidade de análise, processamento e a resposta

num curto tempo. Cada turbina eólica pode incluir

diversos sensores de monitoramento, além das informações

e dados obtidos pelas Drones etc, ~~além disso~~ considerando

um Parque Eólico de várias turbinas eólicas, ~~o que~~

estudos mostram que os processos de O&M preditivo

podem reduzir a ~~custo~~ custo nivelado de energia até

25%. as métricas preditivas evitam interrupções desnecessárias

do parque, diminuem consideravelmente a possibilidade

de falhas graves, e aumentam a produção do parque.

também Podem reduzir as emissões devida <sup>diminuição</sup> ao ~~redução~~

das idas desnecessárias das embarcações de inspeção.

drones, embarcações autônomas pode subsidiar o DT



Com dados observados cada vez mais melhorando a eficiência  
das modelas de DT.

O DT pode ser aplicado em diferente componente de uma  
turbina eólica offshore como pei, nacelle, drivetrain, e plataforma



Ponto 7, Questão 3 : (1/3)

considere um corpo rígido oscilando dentro ou acima de superfície livre da água. A Teoria de escoamento potencial assume que o fluido é incompressível e invíscido, o escoamento é irrotacional e o regime é permanente. Essa teoria ~~essa~~ assume também pequenas amplitudes de movimento e velocidades e assumindo termos lineares de condição de contorno da superfície livre, condição de contorno da cinemática do corpo e a equação de Bernoulli.

Assumindo o escoamento irrotacional, há uma ~~uma~~ função do potencial de cuja gradiente define o campo de velocidade:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = v_x, \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = v_y, \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = v_z$$

$$\mathbf{v} = \text{grad } \phi = \nabla \phi$$





A Lei da Conservação da massa define que na dinâmica das Fluidos não há criação ou desaparecimento da massa. Matematicamente, isso pode ser definido considerando um volume infinitesimal de fluido, ~~através da conservação da massa pode ser definido~~ comparando o Fluxo através desse volume com variação da densidade do fluido no interior do volume.

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

Considerando o regime permanente  $\rightarrow \frac{D\rho}{Dt} = 0$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

Assumindo o fluido incompressível:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

para um fluido incompressível não é possível haver variação de ~~volume~~ volume da mesma quantidade

de massa ao longo do tempo. ~~conhecida~~ conhecida também



como equação da continuidade.

A Equação de Laplace pode ser expressa:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \rightarrow \nabla^2 \phi = 0$$

para um escoamento irrotacional de um fluido incompressível

há uma função potencial ~~potencial~~, a solução da

Equação de Laplace. o campo de velocidade pode ser

descrito através da gradiente dessa função potencial.

potenciais, forças e equação de Navier-Stokes:

Considere um corpo rígido num ~~escoamento~~ escoamento ideal com

onda harmônica. o potencial da fluido pode ser expressa:

$$\phi = \phi_w + \phi_r + \phi_d$$

$\phi_w$  ~~potencial~~ é o potencial da onda incidente,  $\phi_r$  é potencial

de reflexão a partir de um corpo oscilante na água tranquila

(parada),  $\phi_d$  é o potencial de difração do ~~corpo~~ corpo devido

é um ~~corpo~~ corpo rígido.



esse potencial deve satisfazer as condições de contorno incluindo

- 1- continuidade, Equação de Laplace ( $\nabla^2 \phi = 0$ )
- 2- condição de contorno da Fundo: velocidade vertical das partículas da água na fundo é igual a zero.
- 3- condição de contorno da dinâmica da superfície da água: A pressão na superfície da água é idêntica a pressão atmosférica.
- 4- condição de contorno da cinemática da superfície livre:  
A velocidade das partículas da água na superfície livre é idêntica a velocidade da superfície livre. essa condição define a relação entre comprimento e período de onda.
- 5- condição de radiação: A medida que a distância aumenta a radiação tende a zero.

Forças e momentos podem ser calculadas usando a Equação de Bernoulli. Essas forças incluem a força de excitação de ond, radiação, difração e hidrostática (de restauração).

considerando um regime permanente e, levando em conta,



Engenharia Naval  
e Oceânica



ponto 7, Questão 3 : (2/3)

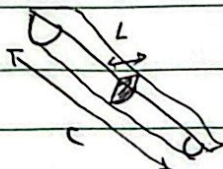
que a equação de Bernoulli é válida numa linha de corrente,  
no corpo  
a expressão pode ser definida ~~usando~~ aplicando as potenciais  
na equação de Euler;

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho g z = 0$$

as funções da velocidade podem ser solucionadas através dos  
métodos 2D ou 3D.

método 2D é aplicado nas estruturas com a relação de

comprimento / largura  $> 3$



$c/L > 3$

esse método chamado "strip theory" determina os parâmetros  
tridimensionais a partir de uma análise 2-D considerando  
a seção transversal da estrutura e é possível considerar  
a velocidade de avanço neste método.



o método 3D, método de painéis, use o teorema de Green  
Para calcular os parâmetros tridimensionais. Baseado em  
Teorema de Green ~~uma~~ uma equação diferencial  
linear e homogênea pode ser transformada em uma  
integral bidimensional. Assim, a equação ~~tridimensional~~ tridimensional  
de Laplace é transformada em uma integral bidimensional  
na superfície. esse método divide a superfície do corpo  
em  $N$  painéis. Assume que a vazão das fontes e dipolos  
e a pressão ~~é a mesma~~ é a mesma ~~em~~  
em diferentes locais de um painel.

- As velocidades, momentos e as forças são calculadas  
considerando a equação do movimento do corpo ~~em~~  
seis graus de liberdade:

$$\sum_{k=1}^6 (-\omega^2 (a_{kj} + m_{kj}) - i\omega b_{kj} + c_{kj}) \zeta_j = X_j$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, 6$$



$a_{ij}, m_{ij}$  → ~~matriz~~ matriz da massa adicional e inércia em grau de liberdade  $k$  devida a aceleração em  $j$ .

$b_{ij}, c_{ij}$  → matriz do amortecimento hidrodinâmico e restauração ~~devida~~ em grau de liberdade  $k$  devida a aceleração em  $j$ .

$\xi_j$  → deslocamento em  $j$  (linear e angular)

$K_j$  → Força da onda incidente em  $j$

Camada limite:

A viscosidade é a propriedade de um fluido real.

~~em~~ Considerando um escoamento de um fluido real <sup>em torno</sup> ~~de~~ <sup>no corpo</sup> de um corpo estacionário, a velocidade do fluido <sup>no corpo</sup> aumenta

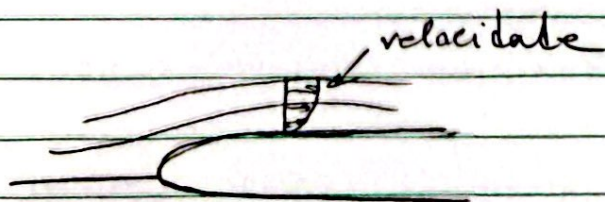
~~até~~ até um valor finito. essa variação de velocidade

é devido à viscosidade e essa camada é chamada

Camada limite de Prandtl. Prandtl definiu que a fluido

Fora ~~da~~ da camada limite pode ser tratado com um fluido

ideal onde a viscosidade pode ser negligenciada.





A Turbulência é resultado dos movimentos de vórtices que

~~ocorrem~~ ~~ocorrem~~ acontecem na <sup>maioria</sup> ~~maioria~~ das fluidos.

das forças importantes ~~de~~ devido a essas vórtices são

Força de arrasto e sustentação.

~~Em~~ num escoamento potencial linear não há força de

sustentação enquanto tiver escoamento simétrico. num

escoamento real não há força de sustentação nas velocidades

de Re menor de 65 (aproximadamente). o desprendimento

de vórtices cria um regime de alta velocidade e de

baixa pressão logo atrás de um cilindro num escoamento.

esses vórtices se formam com uma certa frequência.

a força na direção da formação desses vórtices tem

dois componentes na direção do escoamento (arrasto) e

perpendicular ~~em~~ a direção do escoamento (sustentação).

uma ressonância entre os movimentos do cilindro e a frequência

de desprendimento dos vórtices pode causar problemas



Engenharia Naval  
e Oceânica



ponto 8, Questão 3: (3/3)

~~estruturais~~ estruturais serias ~~estruturais~~. esse fenômeno é conhecido como VIV (vibrações induzidas por vorticidades).

~~números adimensionais como Re e KC~~

números adimensionais como Reynolds e Keulegan-Carpenter (KC)

têm um papel importante para análise das protenas onde a

viscosidade é importante. número de Re é a razão entre

inércia e viscosidade e KC a razão entre arrasto e

viscosidade. KC é importante para determinar a importância

e contribuição das forças ~~de~~ inércias, ~~arrasto~~ e viscosidade

~~o coeficiente de arrasto pode ser dependente do~~

~~regime de escoamento~~. especialmente nas estruturas com

dimensões relativamente pequenas com relação ~~ao~~ ao





comprimento de onda. ~~o~~ número strouhal é importante  
na definição da Frequência de desprendimento da vortices.