



Questão 1:

Primeira etapa seria ~~seja~~ realizar uma análise de recursos teóricos, ou seja, o recurso existente no ~~local~~ local sem considerar nenhum tipo de tecnologia. Isso pode ser feito usando modelos numéricos como WRF ou dados de medição no local. Tendo calculado o ~~recurso~~ recurso teórico, podemos identificar o local mais favorável em termos de recursos teóricos. Depois disso precisamos definir o tamanho e número das unidades flutuantes. A ~~regra~~ regra geral é que quanto maior for a turbina, menor será o custo



nivelado de energia. Isto é porque alguns itens de ~~custo~~ custo não mudam com o tamanho da turbina e ~~consequentemente~~ o ~~custo~~ custo nivelado cai. Depois de definir o tamanho das turbinas (hoje em dia é comum considerar até turbinas com capacidade de 22MW) precisamos layout do parque eólico. Nota-se ~~que~~ que a definição do local do parque, conforme mencionado acima é baseado no recurso teórico. Entretanto isto é apenas uma definição inicial e a definição final do local do parque também depende de restrições ambientais e regulamentares, rotas de imigração das aves e rotas marítimas.



contudo, essas ~~restrições~~ restrições levam a uma nova definição de recursos que se chama recurso prático. Então, definindo o local do parque precisamos definir o layout do parque ~~considerando~~ considerando os efeitos de esteira de cada turbina eólica. Para evitar os efeitos de esteira, uma distância mínima longitudinal e lateral deve ser considerada entre as turbinas. A regra geral é de $6D$ a $12D$ na direção longitudinal e de $2D$ a $4D$ na direção lateral (D : diâmetro do rotor da turbina). Depois precisamos definir o tipo de plataforma flutuante, essa pode ser uma semi-submersível TLP (tension leg platform), SPA ou uma barcaça.



Cada uma das plataformas tem as suas vantagens e desvantagens. Semi-submersível é mais fácil de instalar, porque pode ser montada perto da costa e rebocada a local de instalação. Entretanto a estrutura de um uma Semi-submersível contém grande ~~volume~~ ^{volume} de metais e soldas. No outro lado uma TLP e uma Spar são mais fácil de construir mas ~~tem~~ tem um processo complexo de instalação e requerem embarcações específicas para essa finalidade. Uma barcaça também devido a maior área de exposto a ondas e, conseqüentemente cargas maiores, requer um sistema de posicionamento robusto. ~~tem~~

Qualquer plataforma que for escolhido precisamos realizar um estudo aprofundado em relação ao sistema



de posicionamento. Isto se deve porque as soluções convencionais de sistema de ancoragem em catenária feito de corrente, não será uma solução ótima nesse caso devido ~~as~~ a profundidades altas de água que ~~em~~ aumentam bastante os custos. Entretanto, considerando os desafios de instalação de turbinas eólicas no alto mar no caso de uma TLP e SPAR, a semi-submersível parece uma solução mais lógica.

De qualquer forma devido a presença de cabos de ancoragem (que nessas profundidades provavelmente serão cabo de poliéster)

muito longo, precisaremos implementar a opção de cabos de ancoragem compartilhados



âncoras compartilhadas para reduzir os custos. ~~Isso vai ser~~ ^{ar} difícil a rebocação das plataformas para o porto para a realização de manutenções mais desafiadoras. ~~Isso é feito uma~~
~~De qualquer forma tendo desenvolvido~~ tal parque eólico ~~para~~ para integrar com os campos de produção de óleo e gás offshore ajudaria a descarbonização das atividades de petróleo e gás. ~~Isso~~ acelera a transição para uma economia mais sustentável e mais ambientalmente amigável. De qualquer forma, existem muitos desafios em relação a implementação de um parque eólico flutuante. Caso optamos a usar outras plataformas como TLP e SPAL, precisaremos de embarcações



especiais de instalação das turbinas no alto mar. Outra questão importante é em ~~na~~ relação a um método ~~e~~ construtivo que ~~o~~ ~~garanta~~ garanta a construção de, por exemplo, 67 ~~o~~ plataformas (equivalente a um parque de 1 Gw composto de turbinas de 15 Mw) por ano para que o projeto seja ~~lucrativo~~ lucrativo.

constituindo esse número de plataformas exige uma grande quantidade de matéria-prima. Isso deve ser pensado antes de implementação do projeto e estudado de forma aprofundada a demanda e suprimento disponível. Outra questão é em relação a matéria-prima que pode ser concreto ou aço. Concreto, especialmente concreto protendido, tem uma durabilidade maior e requer menos medidas protetivas, comparado com o aço.



concreto também é mais barato, só que,
~~leva~~ leva a umas unidades flutuantes muito
pesadas, que ~~precisa~~ ~~de~~ necessita
um estudo detalhado sobre o método
construtivo e método de lançamento.

Uma das ~~principais~~ principais
desvantagens de uso de turbinas eólicas
flutuantes é a sua intermitência, ^{como fonte de energia} isso
pode ser resolvida parcialmente
~~considerando~~ considerando a integração de
outras fontes de energias renováveis
como solar, ondas e corrente a unidade
flutuante eólica.



Questão: 2

Gêmeo digital é uma representação numérica de uma estrutura, nesse caso, um conjunto de plataformas fixas num parque eólico offshore.

Um Gêmeo digital é normalmente desenvolvido usando modelos numéricos, que podem ser de vários níveis de fidelidade: alta fidelidade (modelos baseados em dinâmica computacional de fluidos (CFD), média fidelidade (modelos de alto desempenho, como OPENFAST ~~ou~~ considerando alguns graus de não linearidade) e modelos de baixa fidelidade lineares.

Geralmente, os modelos de baixa e média fidelidade



~~Os modelos são~~

são escolhidos para ser a base para desenvolvimento de um gêmeo digital. Isto se deve à eficiência desses modelos em providenciar ~~as~~ informações necessárias sobre o desempenho do modelo em um curto tempo.

No caso de um parque eólico offshore com plataformas fixas, um modelo numérico será necessário ^{para} ~~representar~~ representar adequadamente os comportamentos estruturais de todas as estruturas de forma eficiente.

Tal modelo deve representar ~~as~~ os seguintes elementos estrutural em cada plataforma:

1. fundações (estacas cravadas ao fundo do mar para fixar as plataformas)
2. ~~No caso de plataformas de jaquetas:~~ jaqueta que tem elementos de contraventamento, pernas e juntas



3. Peça de transição, que no ~~caso~~ ^{Caso} de uma jaqueta é um convés.

4. Torre de turbina eólica

5. conjunto de rotor e nacela.

As estacas, pernas de jaqueta, elementos de contraventamentos (do Inglês: bracing), e

torre são usualmente feitos de elementos tubulares. Esses elementos junto com as pás das turbinas podem ser modelados usando modelos lineares de vigas, onde as elasticidades são levados em conta.

O convés pode ser modelado como um elemento rígido.

Além de uma representação adequada das

estruturas das plataformas, o modelo

número também deve ser ~~capaz~~ capaz de

modelar de forma confiável as cargas

provinientes das ondas, corrente e ar.

No caso das ~~cargas~~ cargas provinientes do

~~escoamento~~ escoamento do ar, ou seja, cargas

aerodinâmicas, o modelo também deve ser



Capaz de levar em conta os efeitos de esteira ~~de uma turbina~~ na jusante de cada turbina, que considera a interação aerodinâmica entre as máquinas.

Esse tal modelo, que pode ser chamado de um modelo acoplado, serve como base para o desenvolvimento de um gêmeo digital do parque eólico.

Entretanto, o problema é que os modelos de baixa e alta fidelidades, por ser eficiente em ~~em~~ termos de providenciar resultados num curto prazo de ~~tempo~~ tempo, usam um número grande de coeficientes semi-empíricos, que conseqüentemente deterioraram ~~o~~ ~~de~~ a confiabilidade dos ~~resultados~~ resultados fornecidos.

De qualquer forma, o gêmeo digital desenvolvido dessa maneira, é

Engenharia Naval
e Oceânica

continuação da questão 2:

capaz de fornecer informações valiosas sobre o estado ~~de~~ de saúde estrutural das plataformas. O gêmeo digital ~~de~~ tem a capacidade de fornecer informações sobre a estrutura de uma forma online, ~~os~~ ~~resultados~~ que podem ser usadas para detectar e até prever qualquer falha estrutural e assim planejar uma manutenção preditiva e eliminando a necessidade de manutenção preventiva, que aumentam os custos e o tempo de desativação das turbinas.

~~o~~ Em relação à confiabilidade dos resultados fornecidos por um gêmeo digital, recentemente está cada vez mais ~~o~~ comum em combinar ~~os~~ os algoritmos de



machine learning junto ~~com~~ com as ~~informações~~ informações obtidas a partir de métodos de monitoramentos de condições. Os algoritmos de machine learning como as redes neurais (do inglês: Neural Network), precisam ser treinados com alguns dados de entrada. Além disso, a qualidade de previsões ^{desses algoritmos} ~~depende~~ (ou seja, a confiabilidade) depende em grande parte de dados que são usados para treiná-los. De qualquer forma os dados obtidos a partir de métodos de monitoramento de condições servem como base para um treinamento confiável desses algoritmos de machine learning. Observe que caso os modelos de baixa e média fidelidade ~~sejam~~ físicos



Sejam usados como base de desenvolvimento de um gêmeo digital, os dados obtidos a partir dos métodos de monitoramento de condições também podem ser usados para atualizar os coeficientes semi-empíricos embutidos nos modelos físicos para aumentar a acurácia desses ~~modelos~~ modelos em prever o comportamento das estruturas. Mas, de qualquer forma, o uso de algoritmos de machine learning é mais comum em desenvolvimento de um gêmeo digital por causa das suas flexibilidades e eficiências em lidar com ^{diversos} problemas.

Então combinando um gêmeo digital baseado em ~~em~~ machine learning com as informações fornecidas de métodos de monitoramento de condições



aumento • confiabilidade ~~das operações~~
das estruturas
e tem um grande potencial em reduzir
os custos de manutenção.

Em longos prazos, conforme mais ~~informações~~
dados a partir dos monitoramentos
são usadas para o treinamento de
algoritmos de machine learning, o
gêmeo digital será ~~capaz~~ capaz de ^{fornecer} informações
mas confiável por conta de seu treinamento
prolongado baseado nos dados de monitoramento.

Para garantir a integridade estrutural, ~~vários~~
vários
dados de uma ampla opções de métodos
de monitoramento de condições podem ser
usados no treinamento do machine learning.

Esses métodos são os ~~seguintes~~ seguintes:

- Análise de vibração (AV): A AV é
uma abordagem confiável para detectar
falhas estruturais em componentes
mecânicos. só que ~~precisa~~ precisa de



Continuação 2:

de Hardware e Software e, conseqüentemente,

aumenta os custos. → óleo

~~Ad~~ Análise de ~~óleo~~: monitorar os detritos

de óleo demonstrou ser um método eficaz

em detectar falhas ~~dentro~~ dos componentes

~~dentro~~ dentro de uma caixa engrenagem.

Só que, esse método não pode ser usado

para os componentes fora da caixa, e os

equipamentos de monitoramento online

são caros.

outros métodos que podem ser usados

no monitoramento de condições são

~~o~~ medições de temperatura:

não pode ser usado de forma isolado

e tem que ser combinado com outro método.



- medições de deformações com extensômetros. Nesse caso a análise de dados obtidos será feita usando um método de elementos finitos. Mas, em longo prazo, esses métodos não são confiáveis.

- ~~inspeção~~ inspeção visual:

Só pode ser usada para detectar falhas visíveis, e ~~é~~ é um método trabalhoso e subjetivo, já que depende da experiência do inspetor. Esse método pode ser usado junto com outros métodos.

Existem outros métodos de inspeção e monitoramento também, como inspeção por fibras ópticas, que ~~podem~~ podem ser usados para fornecer dados de campo confiáveis a fim de treinar o algoritmo de machine learning embutido dentro de um gêmeo digital.



~~Os dados fornecidos pelo gêmeo~~

~~digital podem ser amparados~~

~~os dados do modelo real de acordo que~~

~~podem ser~~

~~o desempenho da potência~~

~~sendo (se)~~

quanto mais dados confiáveis sejam obtidos

a partir dos sistemas de sensoramento

teremos um modelo de gêmeo digital

mais confiável e conseqüentemente podemos

ter um ~~plano~~ planejamento de

manutenção centrado em confiabilidade

que levaria a uma redução nos custos

e aumenta a capacidade de prever

as falhas estruturais de maneira mais

confiável. Isso também levaria a uma

redução nos custos através de

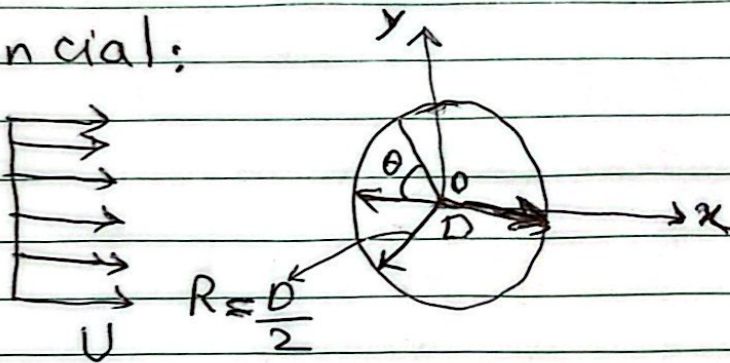


Eliminar ~~as~~ manutenções preventivas
que levariam à desativação da unidade.



Questão 3:

vamos começar isso a partir de um corpo
cheio totalmente submerso num fluido
incompressível. Considere o ~~seguinte~~ seguinte
cilindro circular primeiro num escoamento
potencial:



considere que o cilindro está sujeito
a um escoamento retilíneo uniforme.

No caso de um escoamento potencial
as seguintes hipóteses são aplicadas
a escoamento de fluido:

1. escoamento de fluido é invíscido (viscosidade zero)
2. ~~escoamento~~ escoamento de fluido é irrotacional.
3. escoamento de fluido é incompressível.



com as hipóteses apresentadas acima, o escoamento em torno desse cilindro circular pode ser representado a partir de uma superposição de um dipolo (é o fruto de superposição de uma fonte e sumidouro onde os núcleos tendem a se colocar sobre um mesmo ponto e cujas intensidade aumenta à medida que a distância entre eles diminui):

função potencial de velocidade: $\phi = \frac{q}{r} \cos \theta$

onde q é a intensidade do dipolo e r é distância de qualquer ponto no campo do centro do dipolo.

Um escoamento retilíneo uniforme conforme representado aqui:

função potencial de velocidade: $\phi = Ux$

x : é a coordenada x (ao longo da velocidade U) definida conforme a figura de cima.



então o escoamento resultante a partir dessa
superposição seria:

(função potencial) $\rightarrow \phi: Ux + \frac{q}{r} \cos\theta = U r \cos\theta + \frac{q}{r} \cos\theta$

Tendo a função potencial, podemos calcular
o campo de velocidade num sistema de
coordenadas polar:

~~velocidade~~ v_r (velocidade radial) = $\frac{\partial \phi}{\partial r}$

v_θ (velocidade angular) = $\frac{\partial \phi}{r \partial \theta}$

mas antes disso precisamos definir ~~o~~ o cilindro

considerando $v = 0$:

$$U \cos\theta - \frac{q}{r^2} \cos\theta = 0$$

\Rightarrow então o raio do cilindro seria: $R = \sqrt{\frac{q}{U}}$

isso quer dizer que a função potencial pode
ser reescrita da seguinte forma:

$$\phi = U r \cos\theta \left(1 + \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right)$$

R : é o ~~raio~~ raio do cilindro ($D/2$)

calculando a função potencial de velocidade

podemos calcular a pressão em torno

~~o~~ do cilindro usando a equação do
Bernoulli:

$$P_d = \cancel{\rho} - \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \rho \frac{|\nabla \phi|^2}{2}$$

Observe que estamos interessados em saber apenas a pressão dinâmica. Além disso, como estamos considerando que o escoamento é irrotacional, ou seja:

$$\text{curl } \vec{v} = \vec{\nabla} \times \vec{v} = 0 \quad (\vec{v}: \text{campo de } \cancel{\text{pressão}} \text{ velocidade)}$$

então a equação de Bernoulli pode ser aplicada a todo o domínio.

Vamos também assumir que o regime é permanente, ou seja:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$$

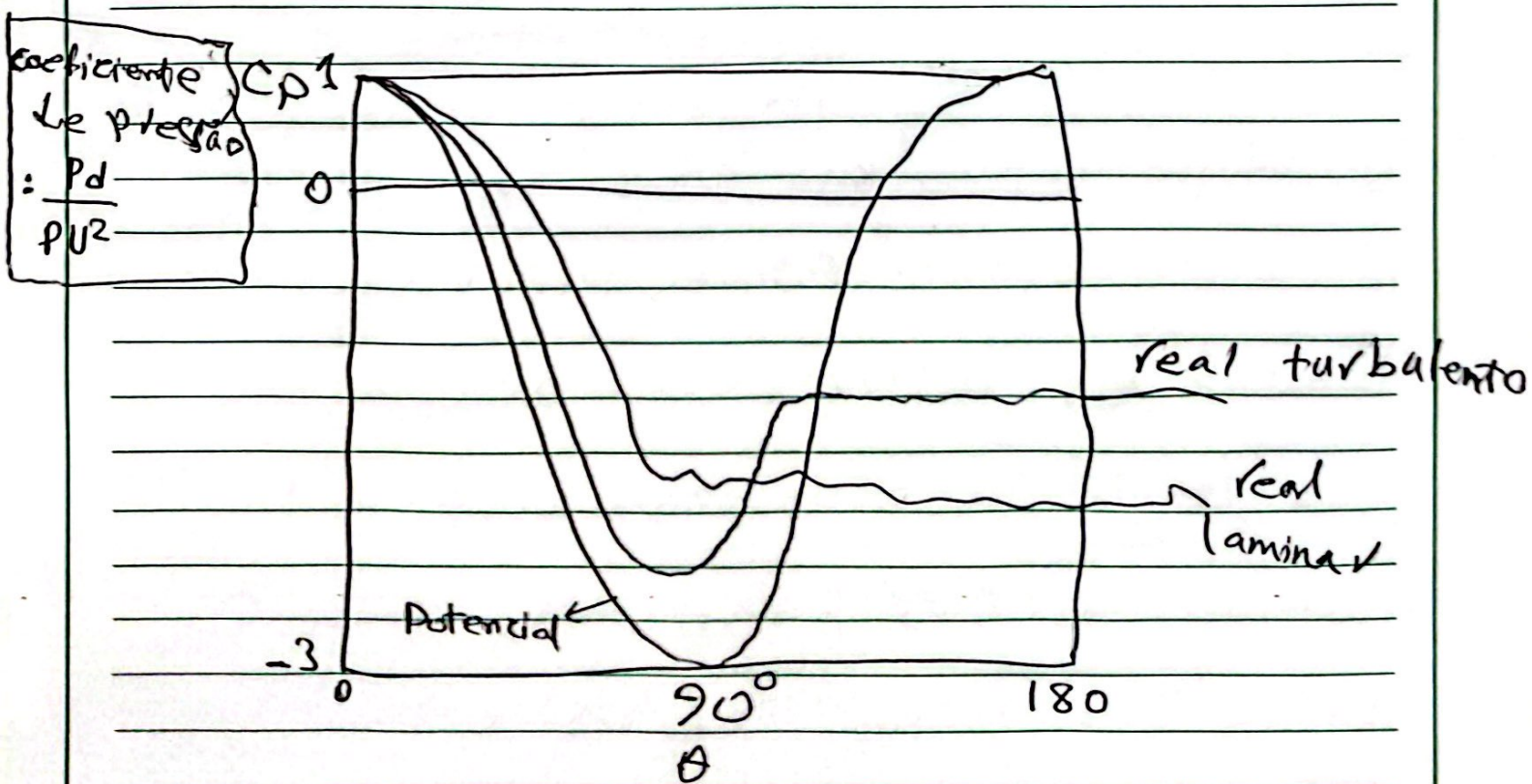
então o campo de pressão, baseado na velocidade em torno do cilindro que

seria: $v_\theta = -2u \sin \theta$, seria:

$$P_d = \cancel{\rho} (1 - 4 \sin^2 \theta) \cancel{\rho} u^2$$



esse campo de pressão é plotado na seguinte figura, junto com o campo de pressão em torno de um cilindro circular num escoamento real. O escoamento real pode ser turbulento ou laminar, conforme indicado na figura:





conforme pode ser visto, o campo de pressão no caso de escoamento potencial é simétrico em relação ao eixo vertical. Isso significa que no caso de escoamento potencial nenhuma força atuará no corpo na ~~na~~ na direção do escoamento (nem na direção vertical). Isso se chama o paradoxo de D'Alembert. Só que, no caso de ~~escoamento~~ escoamento real, a distribuição de pressão, ~~especificamente~~ ~~particularmente~~ particularmente ~~no lado a jusante~~ na parte traseira do corpo sofreu uma grande mudança, que é diferente entre regimes turbulentos e laminares. Observe que esses regimes são identificados principalmente pelo número de ~~de~~ Reynolds, a razão entre as forças inerciais e viscosas. No caso de grande números de Reynolds



as forças inerciais dominam as forças
(ordenadoras) viscosas. Voltaremos
mais para frente para esse assunto mais
para frente. Em relação ao escoamento
em torno de um cilindro circular,
no caso de escoamento laminar a
separação do escoamento acontece num
ângulo quase de 82° . Só que essa separação
para o caso de um escoamento turbulento
acontece ~~num~~ num ângulo quase de
 120° . Isto é porque o escoamento turbulento
é mais resistente ao gradiente ~~de~~ ~~pressão~~ adverso de
~~pressão~~ atuante no corpo na
parte traseira. Conseqüentemente, a
~~separação~~ separação do escoamento acontece
num ângulo bem ~~maior~~ maior para o
caso do escoamento turbulento.

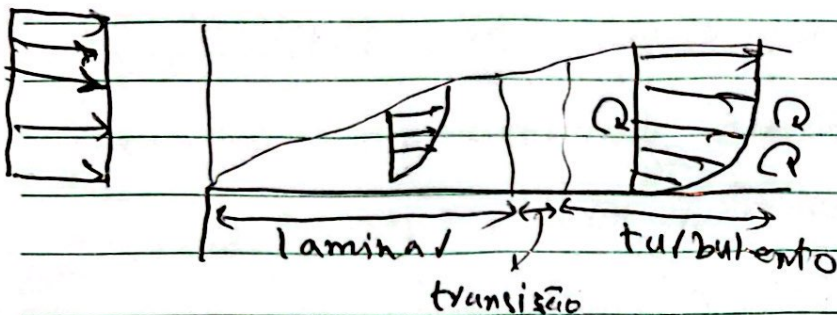


O fato de que o escoamento se-separa num
~~ângulo~~ em um ângulo maior ~~no caso~~ no caso ~~turbulento~~
isto reduzaria a região de estelva
atrás do corpo e, também, a queda
de pressão na parte traseira não
~~será~~ será tão severa quanto ao caso
de escoamento laminar, levando a um
coeficiente de arrasto bem menor no
escoamento turbulento, que é 0,8, comparado
a um coeficiente de arrasto de 1,2
num escoamento laminar.

Para entender melhor a diferença entre
um escoamento turbulento e laminar,
podemos usar o exemplo de escoamento
em ~~uma~~ cima de uma placa plana



Esse escoamento é mostrado aqui



ao encontrar a placa, o escoamento inicialmente retilíneo e uniforme, será um escoamento laminar, porque o número de Reynolds (definido em termos da distância da borda de ataque) é pequeno e as forças ~~viscosas~~ viscosas dominam as forças inerciais. Com o movimento ao longo da placa do escoamento, vorticidade se difunde perpendicular a placa, e há ~~uma~~ indução de um comportamento rotacional, e ~~as forças viscosas come~~ a velocidade muda de forma mais intensa, e as forças ~~viscosas~~ inerciais começam a superar as forças viscosas.

modo



O escoamento entra na fase de transição.

As perturbações continuam aparecendo especialmente pelo caráter rotacional do escoamento por causa da distribuição da velocidade, e as forças inerciais ~~continuam~~ continuam dominando as forças viscosas, e o escoamento entra na fase de turbulento. Nesse caso de uma placa plana a transição de escoamento

laminar para turbulento acontece para um número de Reynolds em torno de ~~500~~ 5×10^5 . Observe que

essa transição também depende de nível de turbulência no escoamento

~~livre e~~ livre e também da rugosidade da placa.

No caso de um corpo sólido

submerso, ~~observamos~~ observamos que



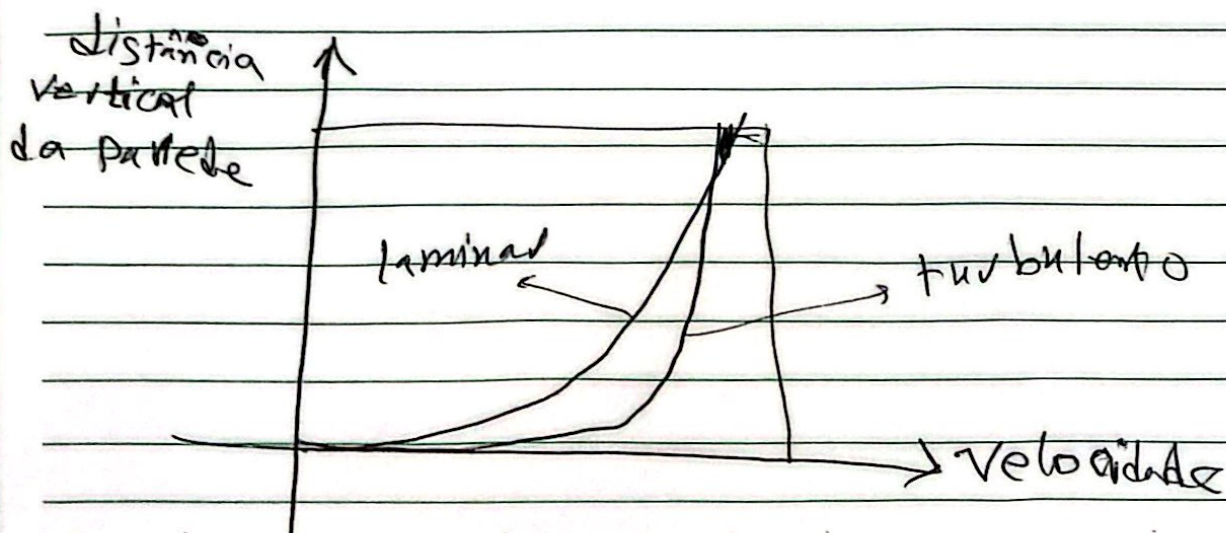
O gradiente de pressão admo
na parte traseira do copo não
causa nenhuma separação do
escoamento, por causa de ignorar os
efeitos viscosos. Entretanto, no
caso de um escoamento real, a
~~presença~~ presença da viscosidade causa
a formação de uma fina ~~camada~~
camada
junto ao corpo, que é chamado de
camada limite. Dentro da camada limite
a velocidade ~~tem~~ ^{tem} um gradiente grande
na direção vertical a superfície do
corpo, sendo a velocidade ~~aumenta~~ aumenta de
zero junto ao corpo ~~até~~ até a
velocidade do escoamento livre
imediatamente afastado do corpo.



Então, esses efeitos ~~viscosos~~
viscosos, por
menor que sejam (porque são limitadas
dentro de uma fina camada junto ao corpo)
a velocidade diminui para zero
junto ao corp. Conseqüentemente o
escoamento dentro da camada limite
é vulnerável a qualquer gradiente desfavorável
de pressão e pode sofrer separação do
escoamento e leva a um
aumento significativo no arrasto que
será muito maior do que a parcela do
arrasto ~~por conta da~~ fricção superficial
por conta da
que é um resultado das tensões viscosas e
viscosidade.
só que como foi explicado, um escoamento
turbulento é bem mais resistente
a um gradiente adverso de pressão.



do que um escoamento laminar. Isso
pode ser ~~justificado~~ justificado baseado
no perfil de velocidade de um
escoamento turbulento e um escoamento
laminar mostrados de forma esquemática
na seguinte figura em cima de uma placa plana



um escoamento turbulento possui uma
quantidade de movimento maior.



$$V_r \cos \theta = R^2 V \cos \theta /$$

$$V_r \cos \theta (1 + \frac{R^2}{R^2})$$

RASCUNHO