

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

ANDRESSA BACCA

ANALISE NUMÉRICA DA FORMAÇÃO DE VÓRTICES EM HELIDECKS DE  
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO DO TIPO FPSO

Joinville

2018

ANDRESSA BACCA

ANALISE NUMÉRICA DA FORMAÇÃO DE VÓRTICES EM HELIDECKS DE  
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO DO TIPO FPSO

Trabalho apresentado como requisito para  
obtenção do título de bacharel no Curso de  
Graduação em Engenharia Naval do Centro  
Tecnológico de Joinville da Universidade  
Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Talita Sauter Possamai

Joinville

2018

ANALISE NUMÉRICA DA FORMAÇÃO DE VÓRTICES EM HELIDECKS DE  
PLATAFORMAS DE PRETRÓLEO DO TIPO FPSO

ANDRESSA BACCA

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 26 de Novembro de 2018.

Banca Examinadora:

---

Dra. Talita SauterPossamai  
Presidente/Orientadora

---

Dr. André LuisCondinoFujarra  
Membro

---

Dr. Rafael Gigena Cuenca  
Membro

Aos que me acompanham.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre me iluminou, protegeu, livrou-me de malefícios, jamais deixou faltar-me algo, cuidou de mim com tamanho amor e carinho.

A ti Senhor, meu eterno amor e profunda gratidão.

Ao meu pai Valmor Manoel Couto, que simplesmente é o melhor pai do mundo, você me deu todo seu amor, me educou, aconselhou-me diversas vezes com a preocupação que só um pai amoroso tem, sem o seu apoio e incentivo eu jamais teria terminado este curso.

A minha mãe Verônica Bacca Couto, que tanto sacrificou por mim, nunca deixou que me faltasse algo, sempre me apoiou, e esteve ao meu lado.

A minha tia Hilda Bacca, que sempre me apoiou, desde a época do vestibular, que tantas vezes me recebeu em sua casa e me deu o colo que eu tanta precisava. Você tornou-se para mim uma segunda mãe, meu carinho por você é imensurável.

Ao meu irmão Anderson Bacca Couto, por sempre ter sido o irmão mais velho com pulso forte que me deu forças, educação, proteção, puxões de orelha quando necessário, e que com conselhos, muito me ensinou. Seu apoio e paciência foram também, primordiais para a realização deste trabalho.

Em memória de minha tia Maria Odete Bacca, para sempre amada e jamais esquecida.

A minha orientadora Talita SauterPossamai, por toda paciência e zelo que me dedicou, por todo conhecimento que me forneceu. Eu não poderia ter escolhido orientadora melhor.

Ao meu professor André Fugarra, que tanto me ensinou ao longo do curso de engenharia naval, um professor muito exigente, mas sempre gentil.

A todos meus amigos e colegas de faculdade, que tornaram minhas reuniões para trabalhos em grupo mais divertidas, minhas aulas um pouco menos severas e minha caminhada na universidade mais leve, mas em especial as minhas amigas, Juliana Nogueira e seus doces de bolacha com chocolate que tornaram minha vida realmente muito feliz, Edna Cristina que me acompanhou a faculdade inteira, sempre me dando apoio e amor, Fernanda Oliveira que tantas vezes me recebeu em sua casa e me apresentou ao Adriano Lanches e seu x tudo, Ana Marioti e seus preciosos conselhos, Bruna Minikowski minha fiel companheira de balada nas noites de Joinville, Amanda Zajankauskas e EmelyThreiss minhas amigas de ensino médio que até hoje me fazem sorrir com as lembranças do show do Capital Inicial.

Do meio desta urtiga, perigo, pinçamos esta flor, segurança.  
(William Shakespeare, Rei Quarto, Parte I).

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo numérico para identificação da geração de vórtices na região próxima ao helideck em uma plataforma FPSO, com o mesmo localizado na popa da embarcação, com base na direção e magnitude do vento. Para cada caso de direção do vento (proa, popa e lateral) três magnitudes foram testadas, 13, 18 e 25 nós. A metodologia emprega o método de volumes finitos para a análise do escoamento incompressível e isotérmico de ar sobre a embarcação com o software ANSYS/Fluent. Os resultados indicaram que a formação de vórtices ocorre principalmente quando o helideck está posicionado a jusante da superestrutura e próximo ao mesmo. Nos casos analisados, o vento de proa foi o que mais gerou vórtices sobre o helideck. Um questionário respondido por pilotos de helicópteros offshore corrobora com esse resultado. Por último, destaca-se que este tipo de estudo pode ser útil na análise preliminar do posicionamento de helidecks em embarcações.

*Palavras Chave: Helideck, Plataforma, Simulação numérica.*

## ABSTRACT

This work presents a numerical study in order to identify the formation of vortex among the helideck region of a FPSO platform, where it is located at stern of the ship, with reference to the direction and magnitude of the wind. For each wind direction case (bow, stern, side), three magnitudes were tested, 13, 18 and 25 knots. The methodology applies the finite volumes method for analyzing an incompressible and isothermal air flow through the vessel using the software ANSYS/Fluent. Results indicated that vortex formation occurs mostly when the helideck is positioned downstream of the superstructure and close to it. In the analyzed cases, the stern wind formed more vortex around the helideck. A quiz answered by offshore helicopter pilots collaborates with these results. Lastly, it is noted that this kind of study may be useful in the preliminary analysis of the position of the helideck in ships.

Keywords: Helideck, Platform, Numerical simulation



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de plataformas offshore .....	15
Figura 2- Imagem exemplo de uma plataforma FPSO .....	16
Figura 3- Plataforma P-68. ....	17
Figura 4- FPSO com Spread Mooring System. ....	17
Figura 5- FPSO com Single Point Mooring .....	18
Figura 6- Helideck.....	19
Figura 7- Dimensões do helideck.....	20
Figura 8- Dimensões do Helideck.....	20
Figura 9- Dimensões do Helideck.....	21
Figura 10- Helicóptero .....	22
Figura 11- Forças aerodinâmicas .....	23
Figura 12- Turbulência orográfica em uma montanha. ....	24
Figura 13- Escoamento perturbado gerado por obstáculo. ....	25
Figura 14- Airwake em uma Embarcação. ....	25
Figura 15- Dimensões.....	28
Figura 16 – Subdivisões da região próxima à parede.....	32
Figura 17- Malha Fina .....	33
Figura 18- Malha fina com Corte.....	34
Figura 19- Volume de Controle .....	34
Figura 20- - Escoamento lado A .....	37
Figura 21- - Escoamento lado B .....	37
Figura 22- Escoamento lado C.....	37
Figura 23- Escoamento lado c visto de cima .....	37
Figura 24- Helideck localizado na proa.....	41
Figura 25- Helideck com boa altura vertical em relação ao mar .....	41
Figura 26- Helideck na proa com boa distancia vertical em relação ao mar .....	42
Figura 27- Malha média .....	50
Figura 28- Malha Grossa .....	50
Figura 29- Comparação entre malhas.....	51
Figura 30- Escoamento lateral 18 nós .....	52
Figura 31- Escoamento lateral 13 nós .....	52
Figura 32- Escoamento proa 18 nós.....	53

Figura 33- Escoamento proa 13 nós.....	53
Figura 34- Escoamento popa18 nós .....	54
Figura 35- Escoamento popa 13 nós .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Constantes Adimensionais do modelo k- $\epsilon$ .....	31
Tabela 2- Velocidades Registradas .....	35
Tabela 3- Condições de contorno.....	35
Tabela 4- Casos simulados com condições de velocidade diferentes .....	36
Tabela 5- Características das Malhas .....	50

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>CFD</b>	Computational Fluid Dynamics
<b>FPSO</b>	Floating Production Storage and ffloading
<b>NORMAN</b>	Normas Oriundas da Marinha de Guerra
<b>SLO</b>	Setor Livre de Obstáculos
<b>AAFD</b>	Área de aproximação final e decolagem
<b>ANAC</b>	Agencia Nacional de Aviação Civil
<b>RANS</b>	Modelos Baseados nas Médias de Reynolds
<b>RSM</b>	Reynold Stress Models

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\delta$	Delta de Kronecker
$\mu_t$	Viscosidade turbulenta
$V_{eff}$	Viscosidade cinemática efetiva
$V_t$	Viscosidade cinemática turbulenta
$\gamma$	Taxa de deformação
$\varepsilon$	Dissipação da Energia Cinética Turbulenta
$\mu$	Viscosidade Molecular
$\nu$	Viscosidade Cinemática
$\rho$	Massa Específica
$\omega$	Frequência Turbulenta
$\bar{U}_i$	Velocidade Média na Direção i
Re	Número de Reynolds
$\bar{U}_i \bar{U}_j$	Tensor de Reynolds
K	Energia Cinética Turbulenta

## SUMÁRIO

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS .....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
2.1. PLATAFORMAS OFFSHORE .....	15
2.2. HELIDECK .....	18
2.3. LOCALIZAÇÃO DO HELIDECK.....	21
2.4. HELICÓPTERO .....	22
2.5. TURBULÊNCIA.....	23
2.5.1. TURBULÊNCIA OROGRÁFICA.....	24
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
4. DOMÍNIO DE MODELAGEM.....	27
4.1. EQUAÇÕES GORVENANTES.....	28
4.2. MODELAGEM DA TURBULÊNCIA.....	29
4.2.1. RANS .....	29
4.2.2. MODELO DE TURBULÊNCIA .....	30
4.3. MALHA.....	33
4.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	34
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>
<b>8. APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO AOS PILOTOS.....</b>	<b>46</b>
<b>9. APÊNDICE B – ANÁLISE DE REFINO DE MALHA E RESULTADOS PARA 13 E 18 NÓS.....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As primeiras explorações offshore de petróleo transcorreram em meados do século XIX no Golfo do México, Estados Unidos, e com a invenção do automóvel com motor de combustão interna, o petróleo tornou-se uma das principais fontes de energia do mundo.

Desde então, altos investimentos em tecnologia e tornaram possível o acesso a recursos em locais considerados inviáveis devido a condições predominantes do clima, como o ambiente marinho e as rochas do local, fatores como a velocidade dos ventos e outros. (MORAES; JOSÉ, 2013).

A exploração de petróleo divide-se em três principais etapas:

- **Prospecção:** etapa na qual se determina a localização das reservas de hidrocarbonetos através de análise do solo e subsolo e a viabilidade econômica para a extração do petróleo;
- **Perfuração:** período em que se efetua a perfuração do solo através de torres de perfuração.
- **Extração:** realizada por meio de plataformas equipadas com equipamentos específicos para extração.

O acesso à plataformas de petróleo é realizado na sua grande maioria através de helicópteros. Porém, existem várias restrições de pouso na plataforma por conta da localização do helideck na embarcação. Um helideck muito próximo da superestrutura da embarcação, por exemplo, pode estar sujeito a turbulência orográfica, o que dificulta e pode tornar arriscadas as manobras de pouso e decolagem do helicóptero.

A escolha correta do local de pouso é necessária e de suma importância, visto que graves problemas, que ocorrem durante a decolagem ou pouso de uma aeronave devido à turbulência, podem ser evitados.

O ensaio em túnel de vento com modelos em escalas reduzidas é método mais utilizado e eficiente para análise de dados referentes a carregamento de vento nas estruturas localizadas no convés superior da plataforma, análise das correntes marinhas e análise aerodinâmica do helideck, contudo é um método caro e delongado, que muitas vezes torna-se inviável (Christopher H.K./OceanEngineering, 2013)

Assim, com o intuito de buscar conhecimento sobre meios de minimizar as adversidades causadas por turbulência orográfica e rajadas de vento sobre o helideck, este trabalho tem como foco realizar uma análise aerodinâmica qualitativa sobre a influência do vento na região do helideck por meio de métodos numéricos.

## 1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre a geração de vórtices nas proximidades do helideck em plataformas de petróleo do tipo FPSO com base na influência da estrutura da instalação e da direção e velocidade do vento. Em termos de objetivos específicos pretende-se:

- Apresentação da fenomenologia envolvida no tema;
- Modelagem numérica do escoamento de ar ao redor de uma plataforma FPSO para diferentes casos de vento;
- Analisar o comportamento do escoamento com base em variações de velocidade e direção do vento sobre a superestrutura.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

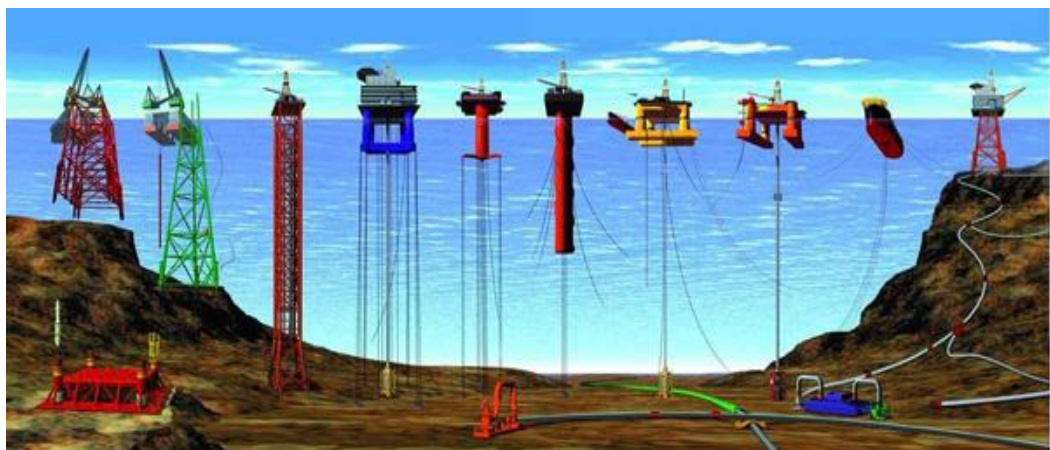
Neste capítulo está apresentada uma revisão sucinta sobre os principais aspectos abordados neste trabalho e que influenciam a análise do escoamento sobre uma embarcação petrolífera.

### 2.1. PLATAFORMAS OFFSHORE

Plataformas de petróleo do tipo offshore são grandes estruturas usadas para a perfuração de poços no leito do oceano para a extração de petróleo e/ou gás natural. Existem duas funções principais para as plataformas de petróleo: perfuração e produção. Os tipos de plataformas variam de acordo com sua finalidade e a profundidade da lâmina d'água em que irá atuar. A figura 1 ilustra alguns tipos de plataformas de petróleo, sendo elas: Spar, Torre Complacente, TLP, Semissubmersível e FPSO.

Ao observar a figura 1, a plataforma FPSO é o segundo desenho da direita para esquerda. Este modelo de plataforma foi escolhido para ser abordado neste trabalho, portanto o enfoque de toda a pesquisa se fará sobre ele, as figuras 2 e 3 ilustram plataformas FPSO com maior qualidade, possibilitando conhecer melhor suas características geométricas.

Figura 1- Tipos de plataformas offshore



Fonte: (Soldas, 2013)

De acordo com a marinha do Brasil, atualmente no Brasil existem 152 plataformas de petróleo em operação dentre elas 43 são do tipo FPSO, uma análise realizada pelo Wood

Group em 2015 apresenta o Brasil como o país em que existe maior número de plataformas de petróleo tipo FPSO.

Uma plataforma FPSO, sigla em inglês para **F**loating **P**roduction**S**torageand**O**ffloading, é uma instalação flutuante onde ocorre a produção, armazenamento e a transferência do petróleo e gás natural para navios aliviadores, possuem em media 300 metros de comprimento, e pesam 60 mil toneladas. Esse tipo de plataforma é utilizada pela indústria petrolífera em locais de grande profundidade e distantes da costa, onde a utilização de oleodutos e gasodutos para a transferência do gás ou óleo produzido na plataforma torna-se inviável.

Figura 2- Imagem exemplo de uma plataforma FPSO



Fonte: Própria (2018)

Essas embarcações geralmente são construídas a partir da conversão de antigos navios petroleiros em uma unidade FPSO, no entanto existem também projetos específicos para FPSO. Estes por sua vez possuem geometria um tanto quanto diferente da versão adaptada: sua proa possui formato reto, lembrando um retângulo (uma vez que a prioridade não é a redução da resistência ao avanço e sim diminuir problemas relacionados ao movimento da embarcação, como Roll, por exemplo).

Figura 3- Plataforma P-68.



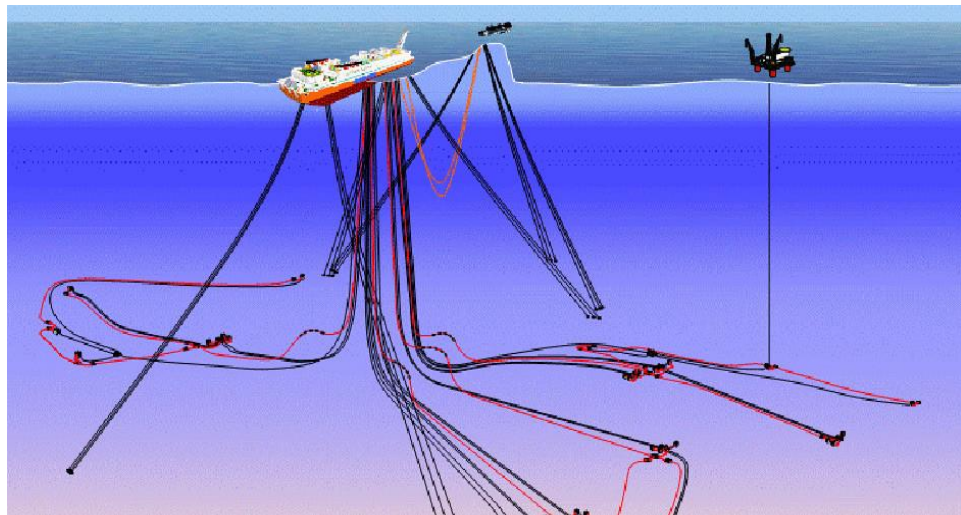
Fonte: (Petrobras, 2016)

Além da forma como são construídos, os FPSO podem se diferenciar também pelo método de ancoragem que utilizam.

Existem basicamente três formas de ancoragem diferentes, sendo elas:

- Spread Mooring system (SMS) – Linhas de ancoragem são conectadas ao navio por todo seu perímetro e presas ao fundo mar, restringindo o movimento da embarcação, o que a torna praticamente fixa (Ilustrado na Figura 4).

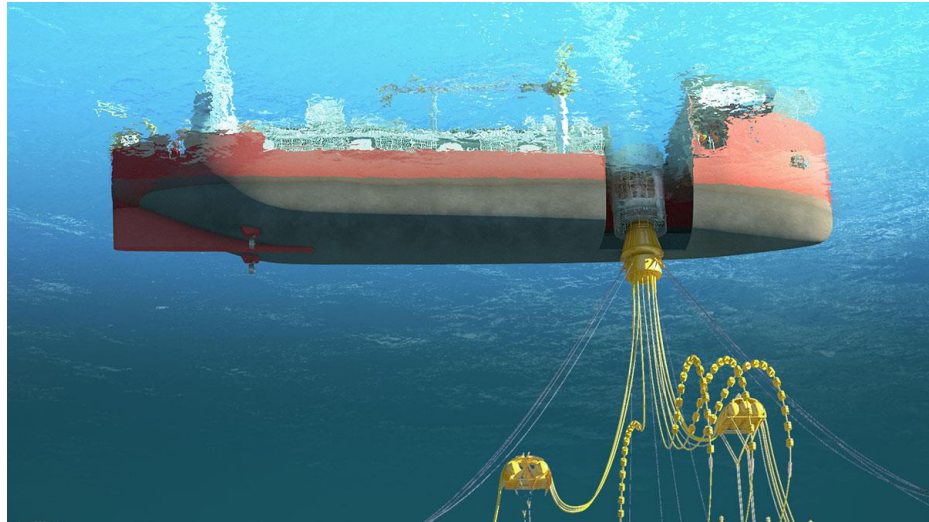
Figura4- FPSO com Spread Mooring System.



Fonte: (worleyparsons, 2015)

- Single Point Mooring (SPM) – Linhas de ancoragem são conectadas ao navio em um único ponto e presas ao fundo do mar, permitindo assim que a embarcação gire livremente no plano horizontal (Figura 5).

Figura 5- FPSO com Single Point Mooring



Fonte: (worleyparsons, 2015)

- Posicionamento Dinâmico – Sistema que permite controlar a posição da plataforma através de um conjunto de propulsores convencionais e laterais ou através de propulsores azimutais, tornando possível assim a rotação completada plataforma.

## 2.2. HELIDECK

De acordo com ANAC (Agencia Nacional de Aviação Civil) Helideck é um aeródromo destinado a operações de aterragem e decolagem de helicópteros localizado em uma estrutura sobre a água, também conhecido como heliponto offshore. Um exemplo de Helideck pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6- Helideck.

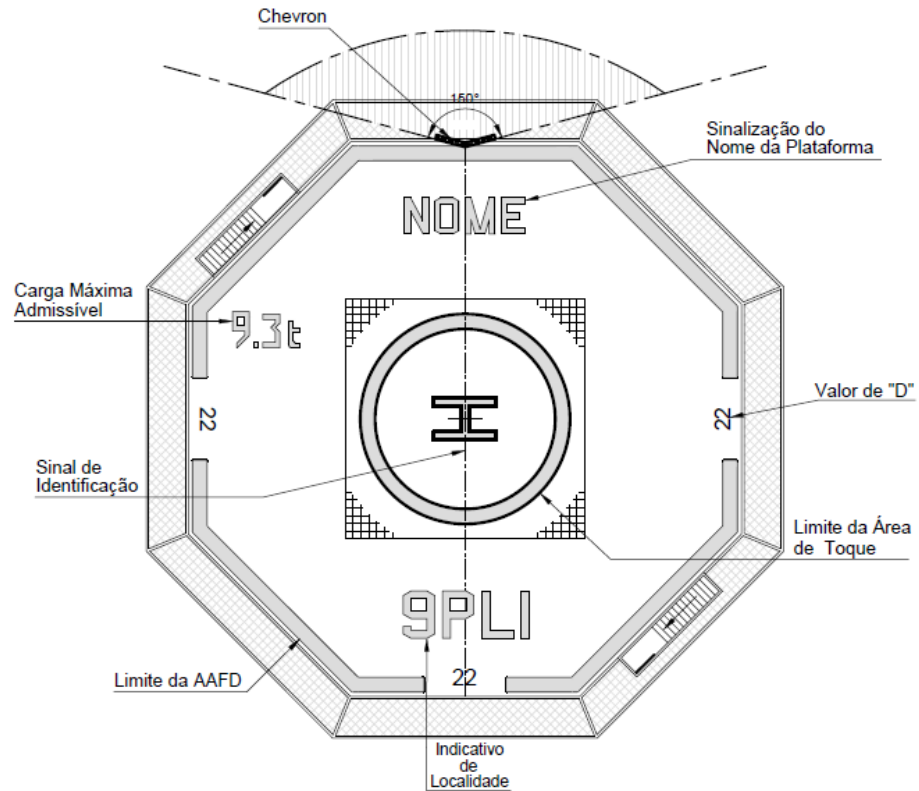


Fonte: Autora (2018)

O helideck pode variar quanto sua forma geométrica, dimensão e material, tudo dependendo do local onde irá permanecer e do modelo das aeronaves que irão utilizá-lo.

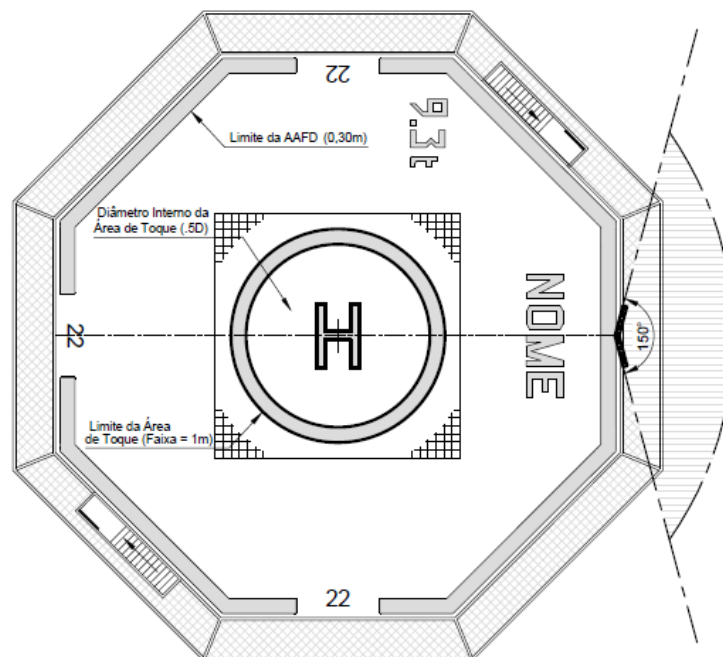
No Brasil o projeto estrutural de um helideck é regido pelas Normas Oriundas da Marinha de Guerra (NORMAN). As Figuras 7 e 8 mostram características geométricas de um helideck, sendo o valor de “D” o comprimento do maior helicóptero autorizado a operar no heliponto offshore.

Figura 7- Dimensões do helideck



Fonte: NORMAM 27/ DPC - Anexo 5-C

Figura 8- Dimensões do Helideck



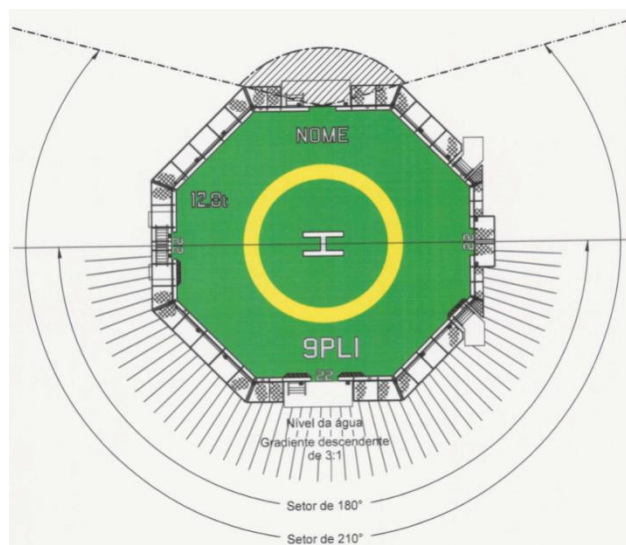
Fonte: NORMAM 27/ DPC - Anexo 5-D

### 2.3. LOCALIZAÇÃO DO HELIDECK

A NORMAN estabelece varias restrições, dentre elas pode-se citar:

- A AAFD (área de aproximação final e decolagem) deve ser posicionada de forma a minimizar a ocorrência de turbulência sobre o helideck, originada pelo escoamento do vento nas estruturas da instalação.
- Não deve haver, sobre o helideck, gases da combustão de queimadores ou caldeiras, que alterem a temperatura ambiente do local. Mudanças repentinas de temperatura podem afetar o desempenho do rotor.
- A AAFD deverá estar localizada no centro da área de aproximação final e decolagem.
- Deve- se respeitar o SLO (Setor Livre de Obstáculos), sendo este um setor de no mínimo 210°, onde não é outorgada a existência de obstáculos.
- Em caso de perda de potência de um dos motores da aeronave é necessário garantir uma distância vertical segura entre o helideck e o nível da água, este local deve ser um setor de segurança completamente livre de obstáculos, de pelo menos 180° graus abaixo do nível do helideck.

Figura 9- Dimensões do Helideck



Fonte: NORMAM 27/ DPC - Anexo 4-C

Quando algum parâmetro não é atendido determinam-se restrições as operações das aeronaves.

## 2.4. HELICÓPTERO

Helicópteros são classificados como aeronaves autopropulsionadas com asas rotativas, capazes de pousar e decolar verticalmente, pairar por longos períodos, mover-se lateralmente, para frente e para trás e também girar 360 graus no ar, essas características permitem que o helicóptero seja utilizado em áreas de difícil acesso e realize tarefas que aeronaves de asa fixa não podem realizar.

Figura 10- Helicóptero



Fonte: Autor (2018)

O conjunto formado por pás e rotor principal é conhecido como aerofólio rotativo e é responsável por fornecer a sustentação que faz o helicóptero voar, realizar manobras e mudar de altitude.

Cada uma das pás interligadas ao rotor é uma asa e são projetadas para aumentar a sustentação ao mesmo tempo em que minimizam o arrasto e isso é possível graças a sua forma geométrica.

As asas de um helicóptero assim como as de um avião não são retas, e sim curvada, o que faz com que a velocidade do fluxo de ar na parte superior das pás torne-se maior que a velocidade do fluxo de ar abaixo das pás, logo de acordo com o teorema de Bernoulli que diz “Se a velocidade de uma partícula de um fluido aumenta enquanto ela se escoar ao longo de uma linha de corrente, a pressão do fluido deve diminuir e vice-versa”. A pressão abaixo das



pás é maior do que em cima, essa diferença produz um gradiente de pressão que, por fim, gera a força de sustentação. Na Figura 13 estão indicadas as forças aerodinâmicas atuantes em um helicóptero, descritas brevemente na sequência.

Figura 11- Forças aerodinâmicas



Fonte: (Hangar33, 2015)

- Arrasto é uma reação aerodinâmica que se opõe ao deslocamento da aeronave
- Tração é a força oposta ao arrasto e possibilita o movimento da aeronave
- O peso é a resultante da massa da fuselagem multiplicada pela constante gravitacional.
- Sustentação é força gerada pelo movimento do aerofólio rotativo e contrapõe o peso.

## 2.5. TURBULÊNCIA

Denomina-se turbulência o escoamento de um fluido onde as partículas movem-se de forma desorientada, não linear e estocástica. É uma característica natural dos fluidos e se manifesta com o movimento caótico do meio.

De maneira mais simplificada pode ser resumir turbulência como a mudança repentina da direção e velocidade do escoamento do fluido, resultante da variação brusca de pressão ou temperatura.

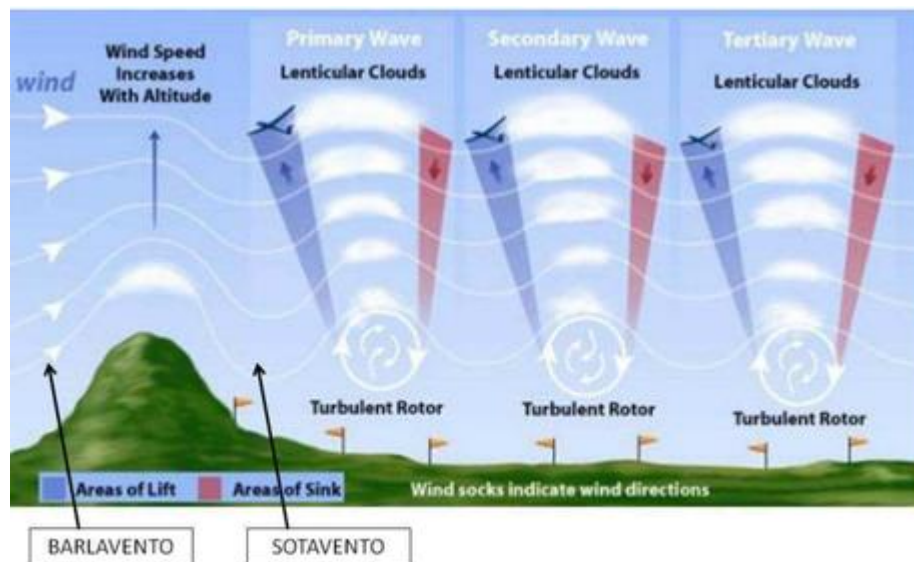
No ramo aeronáutico turbulência não se trata somente de um fenômeno físico causado pelo movimento caótico do ar, trata-se também do impacto do evento sobre a aeronave.

De acordo com a ANAC, turbulência pode ser classificada em três tipos: esteira de turbulência, turbulência térmica e turbulência mecânica, sendo o último caso o foco deste capítulo.

### 2.5.1. TURBULÊNCIA OROGRÁFICA.

A Turbulência orográfica é provocada pelo fluxo do vento através de uma estrutura sólida (montanhas, edifícios, torres, morros, superestruturas de embarcações), ocorre devido à diferença de pressão no topo e base da estrutura e sua intensidade é consequência da velocidade do vento e da altura do relevo. A figura 12 é um exemplo de como ocorre à turbulência orográfica em uma montanha.

Figura 12- Turbulência orográfica em uma montanha.



Fonte: (ANAC, 2017)

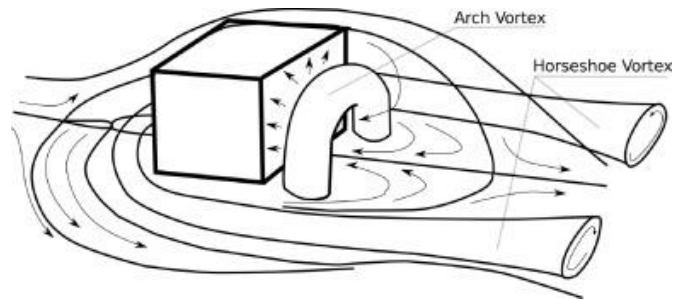
Na região de Barlavento a aeronave tende a ganhar sustentação, já na região de Sotavento, tende a perder sustentação, logo perde altitude.

Na região de Sotavento há ainda a formação de vórtices devido aos diferenciais de pressão e consequente descolamento da camada limite.

Existem vários fatores que podem influenciar o descolamento da camada-limite da superfície, dentre eles, a transição súbita de uma região de fluxo de alta velocidade (e em decorrência, de baixa pressão) para uma de baixa velocidade (e em decorrência, de alta pressão), o que faz com que as lâminas de ar circulem em movimentos bruscos ascendentes e descendentes, gerando turbulência.

A imagem 13 demonstra a formação de vórtices devido a um obstáculo, muito semelhante ao que ocorre sobre a superestrutura de um navio.

Figura 13- Escoamento perturbado gerado por obstáculo.



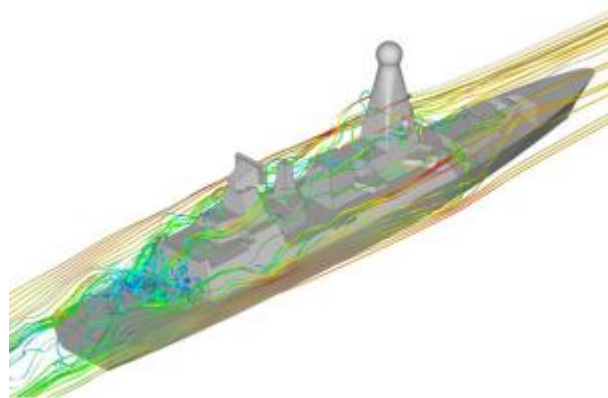
Fonte: (MartinuzzieTropea, 1993)

Em casos onde o helideck encontra-se logo atrás ou muito próximo da superestrutura, as condições de pouso e decolagem do helicóptero tornam-se muito perigosas ou até mesmo inviáveis. Esta situação pode ser contornada caso a plataforma tenha como forma de ancoragem o modelo SPM ou ainda o posicionamento dinâmico, pois através do movimento de rotação da plataforma no plano horizontal pode-se alterar o ângulo de ataque do vento sobre a superestrutura, evitando assim a formação de vórtices próximo ao helideck.

No entanto, nem toda plataforma possui posicionamento dinâmico, o que a torna dependente de rebocadores para alterar sua posição. Porém a utilização de rebocadores é um processo lento e caro e que pode ser evitado com o correto posicionamento do helideck.

Na engenharia naval a turbulência orográfica é conhecida como airwake.

Figura 14- Airwake em uma Embarcação.



Fonte: Christopher H.K./OceanEngineering (2013, p. 97).

O fenômeno de formação de vórtices e sua influência no escoamento na região do helideck vêm sendo discutido na literatura científica com mais regularidade nos últimos 5 anos.

A importância da interação entre o rotor de um helicóptero e o escoamento gerado por estruturas próximas foi analisado em Zagaliaet al. (2018) de forma experimental em um túnel de vento. Dados indicam uma perda de 4 a 11% no coeficiente de impulso do helicóptero ao se posicionar atrás de um obstáculo com tamanho da mesma ordem de grandeza do rotor, com relação ao escoamento. Variações também no momento gerado no rotor (até 1,4 vezes maiores) foram identificados para ventos relativos a 36 km/h (10 m/s).

O trabalho de Yuan et al. (2018) apresenta uma análise numérica com validação experimental da geração de vórtices transientes em uma configuração de embarcação simplificada e de uma Frigata. O modelo numérico foi modelado no software aberto OpenFoam. Resultados indicaram que a geração de turbulência é resultado da obstrução do escoamento por obstáculos, no caso estruturas da embarcação, e que o tratamento dado ao modelo de turbulência perto à parede não tem influência significativa no posicionamento dos vórtices devido ao grande tamanho das estruturas encontradas em embarcações. A posição de aparição dos vórtices é portanto regulada pela efeito de obstáculo gerado pelas grandes estruturas da embarcação de acordo com a posição do escoamento. A mesma conclusão foi encontrada em Rahimpour e Oshkai (2016) através de uma análise experimental em diferentes casos de geração de vórtices após uma estrutura com desnível a jusante.

Forrest e Owen (2016) e Kaariaet al. (2013) realizaram um estudo comparativo, no qual avaliaram a modificação estrutural da forma geométrica da superestrutura de uma embarcação, intercalando entre superestruturas com abas ou cilindros laterais e chanfros. Como resultado notou-se que em determinados casos, como com a adição de chanfros laterais na superestrutura, houve uma melhora significativa da intensidade do airwake, identificando também uma geração de vórtices significativa em ventos com direção lateral e inclinada com relação à embarcação em regiões próximas e obstáculos.

O airwake pode causar abalos indesejados sobre o helicóptero, afetando diretamente a segurança do voo, podendo provocar desde pequenos solavancos até mudanças repentinas de direção e altitude de voo, o que pode ocasionar graves danos estruturais na aeronave.

A fim de verificar a influência da localização do helideck na opinião dos pilotos offshore, foi realizada uma pesquisa, a qual 15 profissionais da área responderam.

O questionário pode ser visto no apêndice A e seus resultados são comentados na seção de resultados.

### 3. METODOLOGIA

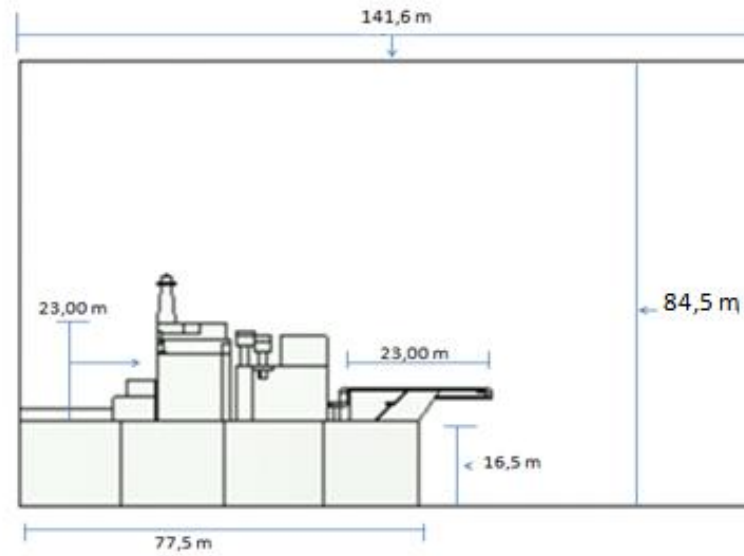
Conforme já comentado no início deste documento, este trabalho aborda uma metodologia de análise numérica para estimativa dos campos de escoamento de ar sobre plataformas do tipo FPSO. A metodologia consiste na modelagem de um invólucro de ar (gás ideal) ao redor da estrutura simplificada de um FPSO através do método de volumes finitos. Com base em dados de vento de uma plataforma real, diferentes casos de magnitude e direção de vento são modelados e analisados com o intuito de analisar a formação de vórtices na área próxima do helideck. Devido à falta de dados experimentais para validação dos resultados numéricos, uma discussão qualitativa sobre os mesmos é apresentada, identificando pontos concordantes com trabalhos similares encontrados na literatura. O software comercial ANSYS Fluent foi empregado para a modelagem numérica. Detalhes da metodologia do problema abordado estão destacados nos itens a seguir.

### 4. DOMÍNIO DE MODELAGEM

Com o interesse em estimar os campos de velocidade e pressão nos arredores do helideck, a geometria a ser modelada consiste em um invólucro ao redor da estrutura de uma FPSO. Devido à demanda computacional elevada optou-se por realizar um corte na embarcação, de forma que somente sua popa e uma pequena parte de seu comprimento fossem analisadas. O helideck, foco deste estudo está localizado na popa da embarcação. É importante destacar aqui que dependendo do local onde o helideck se encontra na plataforma muda-se completamente o cenário do escoamento, visto a vasta gama de diferentes estruturas com diferentes dimensões presentes na embarcação, não analisadas no escopo deste estudo.

A figura 15 contém as dimensões do volume de controle, dos principais pontos da embarcação e do helideck, este último localizado aproximadamente no centro da geometria. O domínio de resolução consiste apenas na parte ao redor da estrutura, não sendo modelado efeitos térmicos ou estruturais na parte sólida da embarcação.

Figura 15- Dimensões



Fonte: A Autora

#### 4.1. EQUAÇÕES GORVENANTES

O escoamento de fluidos no caso analisado é descrito pelas equações da conservação da massa e quantidade de movimento linear. Estas equações estão apresentadas na sequência na forma conservativa e em referencial cartesiano. As seguintes hipóteses foram empregadas nas equações apresentadas: regime permanente, fluido incompressível, a gravidade não foi considerada e o fluido é considerado newtoniano.

A conservação da massa para volumes de controle é dada pela Equação (1).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Onde  $U_i$  é o vetor velocidade do escoamento e  $x_i$  representa a coordenada espacial. A equação da conservação da quantidade de movimento linear é definida como:

$$\rho \left( \frac{\partial (U_i U_j)}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $\mu$  a viscosidade molecular e  $P$  a pressão estática.

Como trocas de calor não foram consideradas neste trabalho a equação da energia não foi empregada na análise, não sendo necessária para a estimativa dos campos de velocidade do escoamento.

## 4.2. MODELAGEM DA TURBULÊNCIA

A modelagem da turbulência pode ser realizada utilizando três métodos distintos:

- I. DNS (Simulação Numérica Direta): Este método exige uma grande demanda computacional, de forma que para problemas complexos torna-se inviável, uma vez que exige que todas as escalas de turbulência no tempo e no espaço sejam resolvidas.
- II. LES (Simulação de Grandes Escalas): Resolve a turbulência em função do tamanho das escalas turbulentas, de modo que as grandes escalas são resolvidas diretamente e somente as pequenas escalas são de fato modeladas. Exige grande esforço computacional, e a malha deve estar muito bem refinada.
- III. RANS (Modelos Baseados nas Médias de Reynolds): Esta abordagem é a mais utilizada em aplicações industriais, pois não exige malhas tão refinadas quanto os métodos citados anteriormente, pode-se resumir como as médias das soluções das equações de Navier-Stokes. Os modelos k-epsilon, k-omega e Spalart-Allmaras fazem parte dessa estratégia de solução.

### 4.2.1. RANS

Este trabalho emprega o método RANS para a resolução da turbulência. As equações da conservação RANS são obtidas ao aplicar o conceito de média de Reynolds às equações da conservação apresentadas anteriormente. Desta forma, a velocidade e a pressão instantâneas do escoamento são decompostas em duas componentes, uma componente média e uma componente de flutuação relacionada à turbulência, de acordo com a equação (3), onde  $U_i$  representa a velocidade instantânea,  $\bar{U}_i$  a velocidade média e  $u'_i$  a flutuação. A mesma analogia é feita para a pressão.

$$U_i = \bar{U}_i + u'_i \quad (3)$$

Substituindo o valor instantâneo da velocidade e da pressão nas equações da conservação apresentadas anteriormente e fazendo a média de Reynolds das equações obtêm-se as equações da conservação da massa (5) e da quantidade de movimento linear (6) RANS dadas por:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{U}_i) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{U}_i \bar{U}_j) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (6)$$

Sendo  $\mu_{eff}$  a viscosidade efetiva dada por  $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$ , onde  $\mu$  é a viscosidade molecular e  $\mu_t$  a viscosidade turbulenta definida de acordo com a hipótese de Boussinesq do modelo de viscosidade turbulenta adotado. Este termo interpreta o efeito da turbulência de acordo com o modelo adotado.

#### 4.2.2. MODELO DE TURBULÊNCIA

Para a realização deste trabalho optou-se pelo modelo Standard k- $\epsilon$  de Launder e Spalding (1974). Este modelo é bastante empregado na literatura para modelagem de escoamentos turbulentos e exige baixo recurso computacional. Detalhes com relação as suas limitações podem ser encontrados em (Mathieu, 2000). O modelo Standard k- $\epsilon$  é um modelo semi-empírico que utiliza duas equações extras para fechar o sistema, modelando a energia cinética turbulenta k e a taxa de dissipação de energia turbulenta,  $\epsilon$ .

Os valores da energia cinética turbulenta (k) e da taxa de dissipação ( $\epsilon$ ) são obtidos através das seguintes equações:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon + P_{kb} \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon + C_{\epsilon 1} P_{\epsilon b}) \quad (9)$$



Onde  $C_{\epsilon 1}$  e  $C_{\epsilon 2}$  são constantes adimensionais do modelo,  $P_{kb}$  e  $P_{\epsilon b}$  representam as forças de empuxo e  $P_k$  é a geração de turbulência devido às forças viscosas calculadas através da equação (10)

$$P_k = \mu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (10)$$

Com os valores de  $k$  e  $\epsilon$  é possível determinar a viscosidade turbulenta  $\mu_t$  por meio da seguinte expressão:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (11)$$

As constantes adimensionais determinadas experimentalmente utilizadas pelo modelo são mostradas na tabela a seguir.

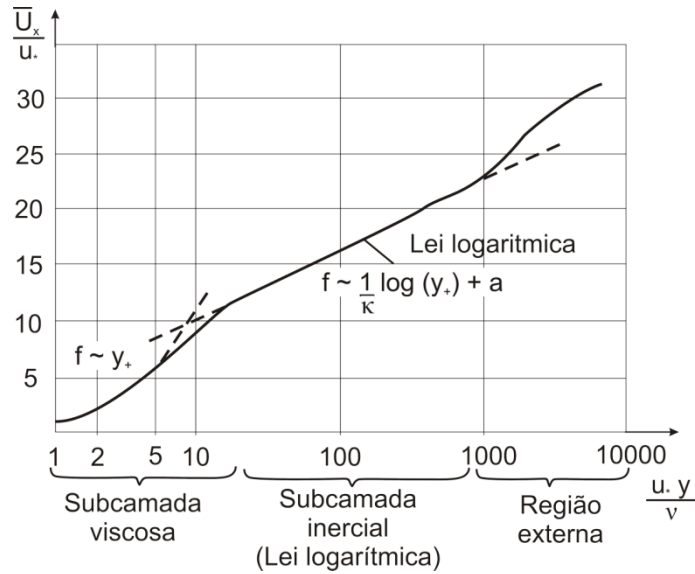
Tabela 1- Constantes Adimensionais do modelo k- $\epsilon$

Constante	$C_\mu$	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	$\partial_k$	$\partial_\epsilon$
Valor	0,09	1,44	1,92	1,00	1,30

Fonte: Adaptado de Vesteeq e Malalasekera (2007)

Para o tratamento do efeito das interfaces sólidas com o escoamento (efeito parede) o modelo standard k- $\epsilon$  utilizado emprega a lei de parede clássica, como definida em Mathieu, 2000. A região próxima à parede em escoamento turbulentos desenvolvidos pode ser subdividida em três camadas. Na camada mais interna, chamada de “subcamada viscosa”, o fluxo é quase laminar e a viscosidade (molecular) desempenha um papel dominante no transporte de quantidade de movimento e na transferência de calor ou massa. Na camada externa, chamada de camada totalmente turbulenta, a turbulência desempenha um papel importante, predominando os efeitos turbulentos do escoamento. Finalmente, há uma região intermediária entre a subcamada viscosa e a camada totalmente turbulenta, onde os efeitos da viscosidade molecular e da turbulência são igualmente importantes. A figura abaixo ilustra essas subdivisões da região próximo da parede, plotadas em coordenadas semi-logarítmicas.

Figura 16 – Subdivisões da região próxima à parede.



Fonte: adaptado de Mathieu, 2000.

Fórmulas semi-empíricas são utilizadas para modelar a área afetada pela parede, conectando as regiões influenciadas pela viscosidade entre a parede e a região totalmente turbulenta. Assim, a velocidade próxima à parede é definida como a equação abaixo, plotada no eixo vertical da figura 16.

$$u^+ = \frac{u_t}{u^*} = \frac{1}{k} \ln y^+ + B \quad (12)$$

Onde  $u_t$  é a velocidade tangencial à parede,  $k$  é a constante de Kármán e  $B$  é uma constante adimensional.

A distância adimensional à parede, plotada no eixo horizontal da figura 16, é dada por:

$$y^+ = \frac{u^* y}{\nu} \quad (13)$$

Onde a velocidade de fricção é definida como:

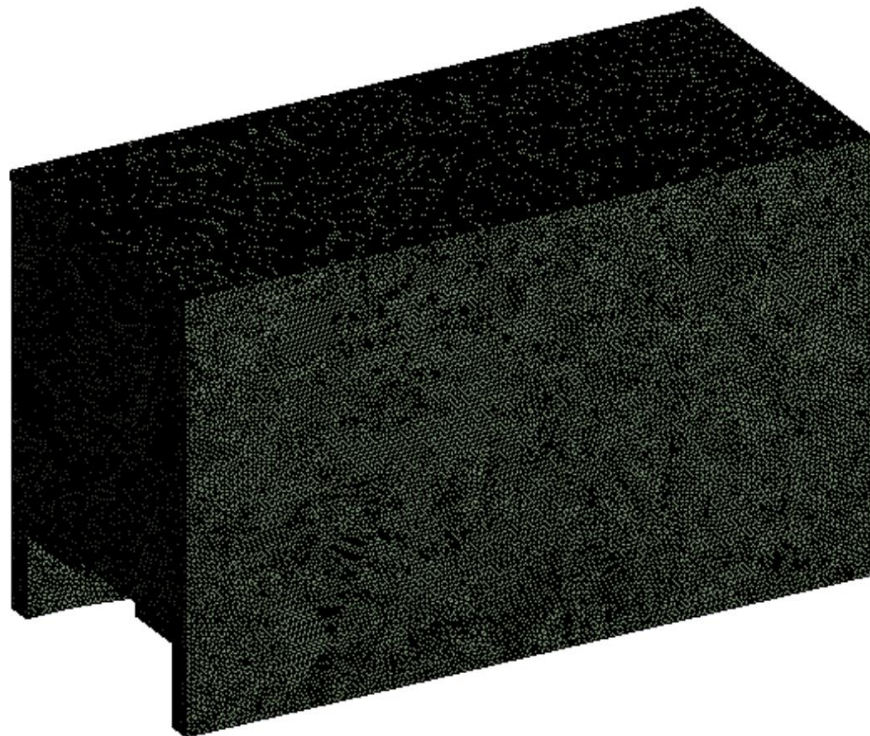
$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_\omega}{\rho}} \quad (14)$$

As equações apresentadas acima são empregadas como funções de parede no primeiro volume da malha em contato com uma superfície sólida com condição de não escorregamento. Dependendo do modelo de turbulência escolhido algumas abordagens são oferecidas para as funções de parede sendo que o valor do primeiro ponto da malha ( $y^+$  ideal) varia para cada abordagem. No caso aqui utilizado, a lei de parede clássica necessita manter na primeira camada de fluido da malha a condição de  $30 \leq y^+ \leq 300$  para uma adequada aplicação da formulação semi-empírica de lei de parede.

#### 4.3. MALHA

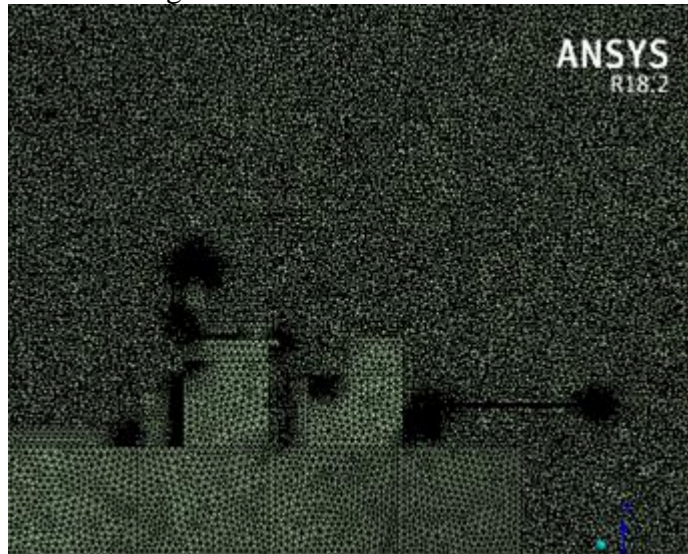
Devido à complexidade de certos pontos da estrutura da embarcação analisada, se optou neste trabalho por uma pela malha tetraédrica. Uma análise de refino foi realizada para definição de uma malha capaz de gerar resultados de escoamento independentes de seu tamanho. A análise de refino está apresentada no apêndice. A malha final empregada na estimativa dos resultados está ilustrada nas figuras 17 e 18, sendo que na figura 18 a malha esta com um corte transversal o que possibilita ver a malha no interior do volume de controle.

Figura 17- Malha Fina



Fonte: A autora

Figura 18- Malha fina com Corte



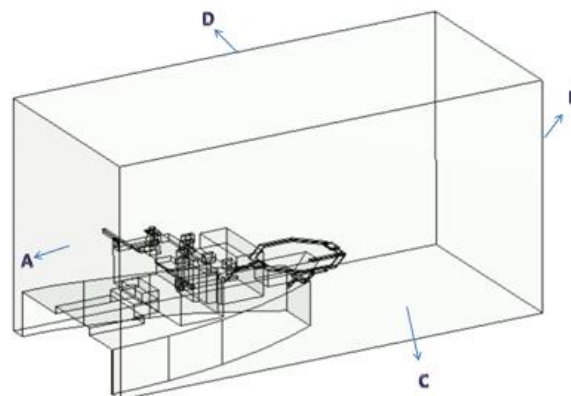
Fonte: A Autora

Na figura 18 é possível notar o refinamento da malha próxima a região do helideck, de maior interesse ao estudo. A malha empregada possui 7.450.204 elementos.

#### 4.4. CONDIÇÕES DE CONTORNO

As condições de contorno do invólucro foram separadas por regiões, sendo elas “popa, proa, lado 1 e lado 2”, que na imagem 19 estão referenciadas pelas letras B, A C e D respectivamente. Há ainda a região superior e inferior do volume, não identificadas por letras, e o contorno da estrutura.

Figura 19- Volume de Controle



Fonte: A Autora

O fluido utilizado foi o ar, com densidade constante igual a  $1,225 \text{ kg/m}^3$  e viscosidade dinâmica de  $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ .

Como o objetivo é analisar a influência do vento na geração de vórtices na região do helideck, a condição de contorno referente ao vento variou em direção e magnitude. Para determinar as magnitudes a serem utilizadas, foi registrado durante o período de uma semana a velocidade do vento na região da Bacia de Campos. Estas velocidades estão indicadas na tabela 2.

Tabela 2- Velocidades Registradas

Dia da Semana	Velocidade Registrada (m/s)	Velocidade Registrada (Knots)
Segunda Feira	7,2	14
Terça Feira	6,7	13
Quarta Feira	7,7	15
Quinta Feira	9,26	18
Sexta Feira	8,23	16
Sábado	10,80	21
Domingo	12,86	25

Fonte: A Autora

Dentre os valores indicados, foram utilizados para realizar os diferentes casos de simulação 13, 18 e 25 nós, cobrindo do valor mínimo ao máximo obtido durante o período de registros.

A tabela 3 apresenta as condições de contorno empregadas ao problema enquanto a tabela 10 indica em que região a mesma é aplicada para cada caso analisado. No total 9 casos foram analisados, compostos por três casos de magnitudes diferenciadas de velocidade para cada face com vento prescrito (cada direção do vento consiste em vento normal às faces A, B, C e D).

Tabela 3- Condições de contorno

Condição de contorno	Descrição matemática
Velocidade prescrita	$\vec{V} = \text{constante}$ $\theta = \text{constante}$ $P = 0 \text{ Pa}$ (manométrico) Intensidade turbulenta = 5 %
Simetria	Condição de Neumann (derivadas nulas)
Pressão prescrita	$P = 0 \text{ Pa}$ (manométrico) Condição de Neumann nas demais variáveis
Interface sólido-fluido (não escorregamento)	$u = 0 \text{ m/s}$

Fonte: A Autora

Tabela 4- Casos simulados com condições de velocidade diferentes

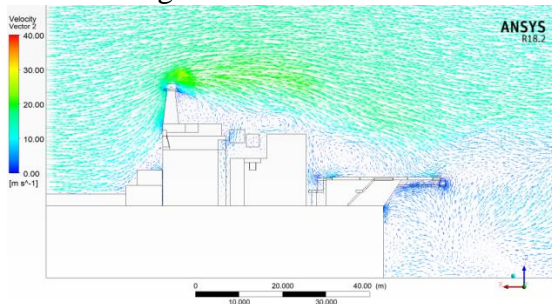
Caso	Magnitude (nós) – normal á área	Face com velocidade prescrita	Demais faces
1-i 1-ii 1-iii	13 18 25	A	B – Pressão prescrita C – Simetria D – Simetria Superior – Simetria Inferior e estrutura – não escorregamento
2-i 2-ii 2-iii	13 18 25	B	A – Pressão prescrita C – Simetria D – Simetria Superior – Simetria Inferior e estrutura – não escorregamento
3-i 3-ii 3-iii	13 18 25	C	D – Pressão prescrita A – Simetria B – Simetria Superior – Simetria Inferior e estrutura – não escorregamento

Fonte: A Autora

## 5. RESULTADOS

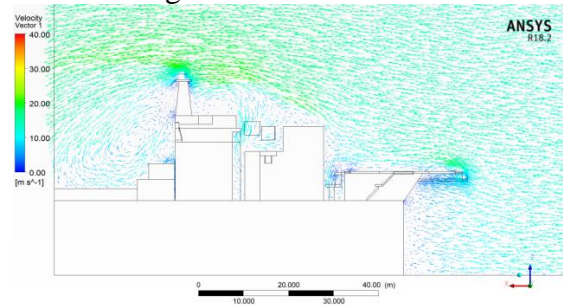
As Figuras 20 a 23 apresentam o campo de velocidade vetorial em um plano média para os casos com velocidade de vento de 25 nós e direções de vento da proa (lado A – caso 1-iii), vento da popa (lado B – caso 2-iii) e da lateral (lado C ou D – caso 3-iii), respectivamente.

Figura 20- - Escoamento lado A



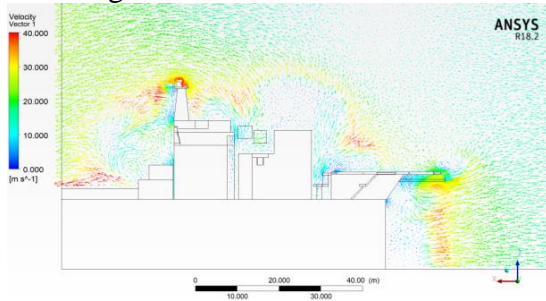
Fonte: A Autora

Figura 21- - Escoamento lado B



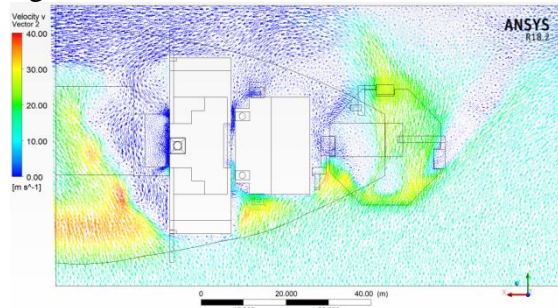
Fonte: A Autora

Figura 22- Escoamento lado C



Fonte: A Autora

Figura 23- Escoamento lado c visto de cima



Fonte: A Autora

Na questão de visualização de provável geração de vórtices, é possível identificar que o escoamento vindo da proa e da lateral são os que aparentemente geram vórtices na região logo acima do helideck. Os resultados da Figura 20 e 21 corroboram com o esperado devido à posição do helideck logo após (caso da Figura 20) e antes (caso da Figura 21) de uma estrutura grande, no sentido no qual vem o vento, de acordo com os trabalhos descritos na seção 3.1.1. É interessante notar como as maiores velocidades apareceram com o escoamento vindo pela lateral (Figuras 22 e 23). A Figura 23 apresenta uma vista de topo do mesmo caso apresentado pela Figura 22 (escoamento lateral). Isso pode estar ocorrendo devido ao tamanho reduzido do invólucro nesta dimensão, que não permite que o escoamento

se espalhe e se adapte ao redor da embarcação, não sendo por isso quantitativamente confiável, sendo necessário maiores estudos para a quantificação correta da magnitude dos vetores velocidades encontrados para este caso. Mas é interessante notar como o obstáculo causado pela estrutura faz o escoamento se desviar no sentido do helideck, causando também perturbações nesta região.

Para cada melhor análise do escoamento, as Figuras 24 a 26 apresentam o perfil de velocidades pela posição em duas linhas transversais e duas linhas verticais sobre o helideck. As linhas estão identificadas pelas cores azul e rosa – transversais – e verde e preta – verticais, no esquema do domínio simulado apresentado junto as Figuras 24 a 26. A posição (em metros) indicada no esquema corresponde a plotagem nos gráficos de velocidade, onde a posição horizontal -282 m corresponde à uma das extremidades do helideck (mais próxima a estrutura) e a posição -202 corresponde ao final do domínio fluido, fora da embarcação. No caso das linhas verticais, a posição -17 m corresponde ao helideck e 43 m corresponde ao final do fluido no topo do domínio. Apenas os resultados referentes às simulações com 25 nós estão ilustrados abaixo, os demais estão disponíveis no apêndice B. A linha tracejado indica a posição do zero na escala de velocidade enquanto a componente plotada da velocidade corresponde a componente vertical nos gráficos da esquerda (componente W) e a componente longitudinal nos gráficos da direita (componente U).

As principais características do escoamento ao redor da superestrutura quando este surge da direção A (proa) – Figura 24 - foram a formação de vórtices sobre a super estrutura e helideck. Uma grande região de esteira se formou ao longo de todo o helideck e continuou por uma longa distancia mesmo após o fim da plataforma, na região abaixo do helideck. O comportamento do escoamento nesta situação mostrou-se irregular como pode ser visto pelos picos e vales no escoamento no sentido vertical plotado na Figura 24 (esquerda). Além disso nos locais próximo a superfície do helideck nota-se uma velocidade baixa, da ordem de 2 a 6 m/s, se aproximando de zero perto do fim do helideck, em direção ao mar. Através dos gráficos que representam as componentes horizontal e vertical da velocidade é possível notar que além de haver variação da velocidade também ocorre variações no sentido da direção do escoamento, sugerindo recirculação do escoamento nestas regiões. Isso pode ser visto na extremidade esquerda do gráfico da direita na Figura 24, onde há velocidades longitudinais positivas próximas ao helideck na linha vertical porém após aproximadamente 5 m há a mudança de sinal para negativo, comportamento típico de um vórtice. O vórtice em si pode ser visualizado comparando as Figuras 24 e 20, rente a superestrutura e acima do helideck.



Figura 24 - Magnitude da velocidade – Vento vindo da proa com 25 nós

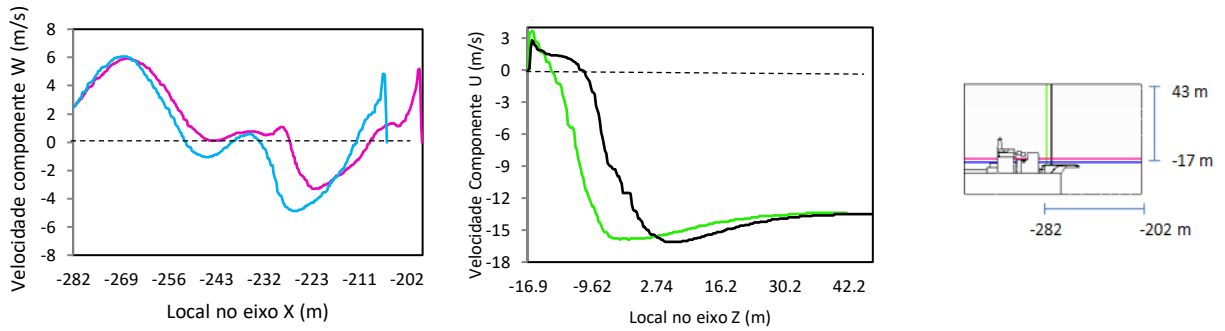


Figura 25 - Magnitude da velocidade – Vento vindo da popa com 25 nós

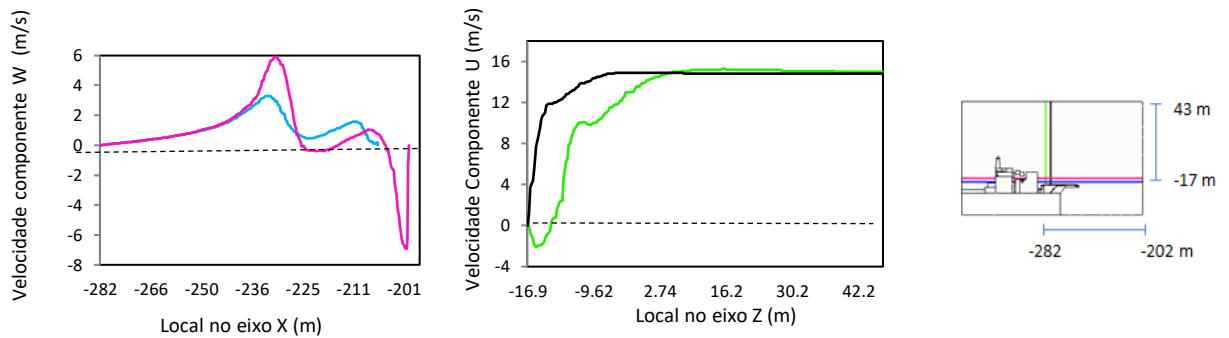
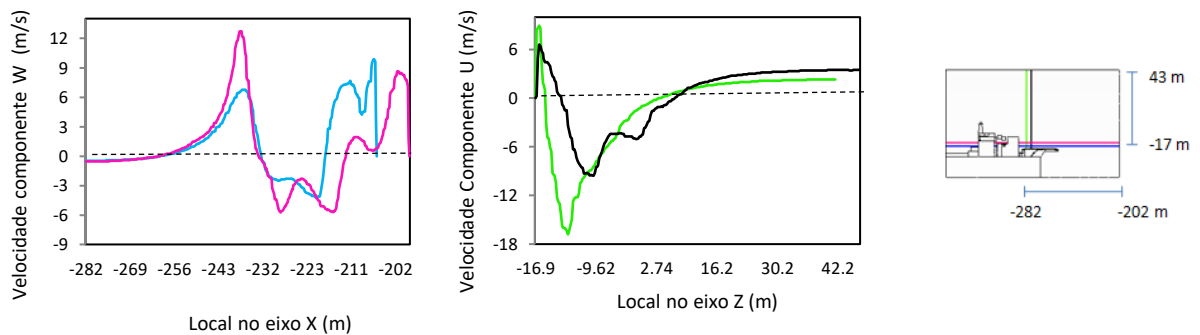


Figura 26 - Magnitude da velocidade – Vento vindo da lateral com 25 nós



Quando o escoamento surge da direção B (popa) nota-se que nas extremidades do helideck ocorre a formação de vórtices, causando variações no sentido e velocidade do vento, o comportamento do escoamento nesta situação é muito parecido com o que ocorre na extremidade da asa de um avião, pois o ar que passa por cima do helideck está sobre menor pressão que o ar que passa por baixo, gerando então uma fuga de ar da região abaixo do helideck para a região de cima. Esta característica é típica dos fluidos que tendem a equilibrar

suas pressões igualmente em todas as direções. Nesta situação a turbulência ocorre somente nas extremidades e o centro do helideck permanece limpo, com o auxílio do gráfico com a componente horizontal da velocidade nota-se uma grande variação de velocidade somente na extremidade do helideck depois a velocidade decai quase linearmente até chegar a zero quando encontra a superestrutura.

Nesse caso as manobras de pouso e decolagem podem ser realizadas com maior facilidade e segurança, pois a aerodinâmica da aeronave é pouco afetada.

Com o vento surgindo das laterais, dependendo da velocidade o comportamento do escoamento é completamente caótico. Através do gráfico com a componente horizontal da velocidade nota-se algumas variações no sentido do escoamento que ocorre devido aos vórtices presentes no local. Nesse caso verifica-se a incidência de vento lateral com turbilhamento, nesta situação a aeronave é obrigada a realizar suas manobras de pouso e decolagem com a incidência de vento cruzado ou vento de través, e não de vento frontal como é o correto. Esta situação implica em risco pois pode ter como consequência a saída da aeronave do helideck, após o toque no solo. O vento de través exige maior disponibilidade de potência do motor, pois em alguns casos pode gerar uma força no sentido contrário ao da rotação da hélice da aeronave. No entanto é importante ressaltar que para velocidades baixas de escoamento a situação melhora consideravelmente, para velocidade de 13 nós por exemplo o escoamento torna-se mais regular, houve registros de vórtices e variações de velocidade mas com intensidade muito menor.

Através dos resultados obtidos é possível notar que o pior caso ocorre quando o vento vem da região da proa, pois forma-se sobre o helideck uma região de grande turbulência com vários vórtices, este caso se assemelha ao caso ilustrado na figura 12, alguns casos são tão severos que o pouso torna impossível de ser realizado e a aeronave volta então para a costa sem ter deixado os funcionários na plataforma.

No questionário realizado com pilotos da área offshore o escoamento vindo da proa para a popa passando pela superestrutura, foi um dos tópicos mais criticados, pois na opinião desses profissionais é o caso mais crítico e inseguro. E de fato de acordo com os resultados obtidos na simulação numérica representados na figura 20 e gráficos referentes ao escoamento da proa, a situação realmente é crítica.

Outro importante ponto abordado no questionário é a altura do helideck em relação ao mar, de acordo com as respostas obtidas esta é mais uma característica do helideck que deve ser analisada com atenção, uma vez que em caso de perda de um dos motores pode não haver potência ou tempo hábil para recuperar altitude, ocasionado um grave acidente.

A região da popa da plataforma, não é o local mais adequado para abrigar o helideck, uma vez que possui grandes estruturas que interrompem o escoamento gerando turbulência sobre o helideck. Uma forma de evitar o problema é colocar o helideck em locais livres de grandes obstáculos, a região da proa pode ser uma saída como ilustra a figura 24, perceba que a superestrutura está na extremidade oposta ao helideck neste caso.

Figura 24- Helideck localizado na proa



Fonte: A Autora

Em casos onde não é possível colocar o helideck longe de grandes estruturas uma solução seria aumentar a altura vertical, posicionando o helideck sobre a superestrutura, as imagens 25 e 26 ilustram um exemplo.

Figura 25- Helideck com boa altura vertical em relação ao mar



Fonte: A Autora

Figura 26- Helideck na proa com boa distancia vertical em relação ao mar



Fonte: A Autora

No caso das figuras 25 e 26 o helideck é livre de obstáculos, evitando assim o “vento guardado” que surge nas proximidades da superestrutura, o escoamento nesses locais é laminar, não há geração de vórtices, esteira, logo são mais adequados para as manobras de helicópteros.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma análise numérica do escoamento turbulento sobre o helideck de uma plataforma FPSO utilizando o software ANSYS/Fluent®. O fluido considerado foi ar com escoamento turbulento e propriedades constantes sob condições de regime permanente.

Asequações de conservação com suas condições de contorno foram resolvidas numericamente dentro de um domínio único, que abrangeu a plataforma e o escoamento fluido. Os resultados indicaram que independente do local de início do escoamento (A, B, C ou D – ver item 4), ocorre a formação de vórtices nas regiões próximas a superestrutura da embarcação. O que varia é a intensidade com que eles ocorrem, conforme a velocidade do escoamento aumenta a turbulência tende a aumentar também, o que pode ser visto comparando os gráficos de velocidades apresentados no item 5 e os apresentados no apêndice. No entanto é perceptível que o pior caso ocorre quando o vento vem da proa (lado A), pois o escoamento vindo deste local acarreta a formação de esteira ao atingir a superestrutura, com vários vórtices na região do helideck. Esta situação é crítica, pois quando a aeronave chega no helideck sofre uma desestabilidade aerodinâmica, já que a velocidade do escoamento naquela região é muito pequena, é como se o vento subitamente desaparecesse, neste momento o helicóptero perde sustentação.

Já nos casos em que o escoamento iniciou na popa (lado B) percebe-se a formação de vórtices nas extremidades do helideck mas em seu centro não houve grande turbulência, logo nesta situação não há grandes consequências sobre a aerodinâmica da aeronave.

Quando o escoamento deriva das laterais da plataforma uma grande região de turbulência é formada próxima a superestrutura, no entanto o caso mais grave ocorreu para velocidade de escoamento de 25 nós, nos casos onde o escoamento possuía a velocidade de 18 ou 13 nós a qualidade do escoamento sobre o helideck teve melhoras consideráveis, não sendo tão agressivo.

Assim como resultado principal chega-se a conclusão que locais próximos a superestrutura possuem grande instabilidade aerodinâmica, não sendo o local mais adequado para abrigar o helideck, a menos que este possua uma altura vertical maior ou igual a superestrutura. Esta seria a opção ideal para o helideck, um local livre de grandes obstáculos, com ampla área de aproximação e com grande distância vertical em relação ao mar.

Destaca-se aqui, que para resultados mais quantitativos referentes a intensidade turbulenta e a magnitude de velocidades envolvidas é importante uma análise mais profunda

da influência do tamanho do invólucro adotado para os estudos assim como o uso de uma abordagem transiente, visto que a turbulência é um fenômeno transiente.

Para trabalhos futuros sugere-se então:

- Análise do tamanho do invólucro e sua influência nos resultados;
- Modelagem transiente do problema e emprego de outros modelos de turbulência para comparação;
- Expansão da problemática para análise de casos com posicionamento de helideck em posições diversas para comparação;
- Validação do modelo numericamente.

## 7. REFERÊNCIAS

MORAES, Jose Mauro de. Petróleo em águas profundas. Brasília: Ipea, 2013.

ANSYS. 2018. Disponível em: <<https://www.ansys.com/>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

PESCE, C.P.; MARTINS, C.A.; SILVEIRA, L.M.Y. Riser-Soil Interaction: Local Dynamics at TDP and a Discussion on the Eigenvalue and the VIV Problems, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2006.

PETROBRAS: Exploração de petróleo e gás. Exploração de petróleo e gás. 2018. Disponível: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>>. Acesso em: 06 abr. 2018.

POTTER, M.; Wigget D. Fluid Mechanics (Schaum's Outline Series). McGraw-Hill, USA, 2008

PORTAL MARITIMO (Ed.). Portal Marítimo. Disponível em: <<http://www.portalmaritimo.com/>>. Acesso em: 1 jul. 2018.

MARINHA BRASIL. NORMAM27: Normas da autoridade marítima para homologação de helidecks instalados em embarcações em plataformas de petróleo. Marinha do Brasil, 2018. Disponível em: <<https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam27.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

Petrobras. (22 de Dezembro de 2016). Fatos e Dados. Acesso em 10 de fevereiro de 2018, disponível em Petrobras: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/casco-da-p-68-chega-ao-espírito-santo-para-integracao.htm>

Soldas, P. d. (14 de outubro de 2013). Ponto das soldas. Acesso em 5 de janeiro de 2018, disponível em Ponto das soldas: <http://pontodassoldas.blogspot.com/2013/10/plataformas-de-petroleo.html>

worleyparsons. (2015). Acesso em março de 2018, disponível em WorleyParsonsGroup: <http://offshore.worleyparsons.com/project/agbami-field-development/>

Y.YANG et al. Aerodynamic impact of a streamwise vortex on a propeller. **Elsevier**, Japan, p.3-4, 11 ago. 2017

ANAC. (10 de Outubro de 2017). Acesso em março de 2018, disponível em ANAC: <http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/profissionais-da-aviacao-civil/meteorologia-aeronautica/condicoes-meteorologicas-adversas-para-o-voou-turbulencia>

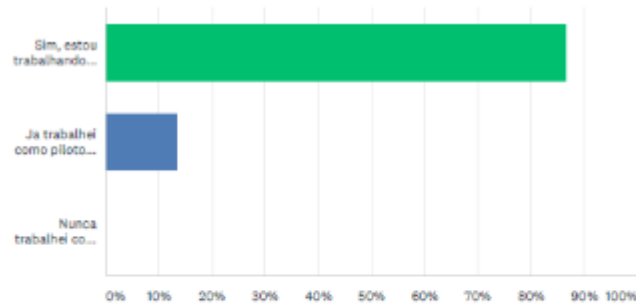
Hangar33: (6 de fevereiro de 2015). Acesso em 18 de fevereiro de 2018, disponível em Hangar3: <http://blog.hangar33.com.br/quais-sao-os-principais-fatores-que-influenciam-o-voou/>

Martinuzzi, R. J., & Tropea, C., 1993. The flow around surface mounted prismatic obstacle placed in fully developed channel flow. Journal of Fluids Engineering, vol. 115, pp. 85–92.

MATHIEU, Jean; MATHIEU, Jean. An Introduction to Turbulent Flow. Cambridge University: Cambridge University Press, 2000.

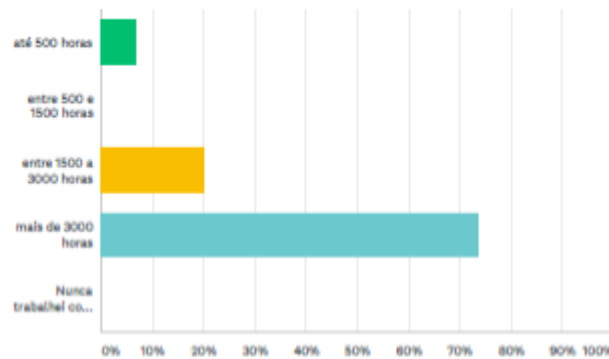
## 8. APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO AOS PILOTOS

1. Você está trabalhando ou já trabalhou como piloto offshore?



OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
Sim, estou trabalhando como piloto offshore.	86,67%	13
Já trabalhei como piloto offshore.	13,33%	2
Nunca trabalhei como piloto offshore	0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

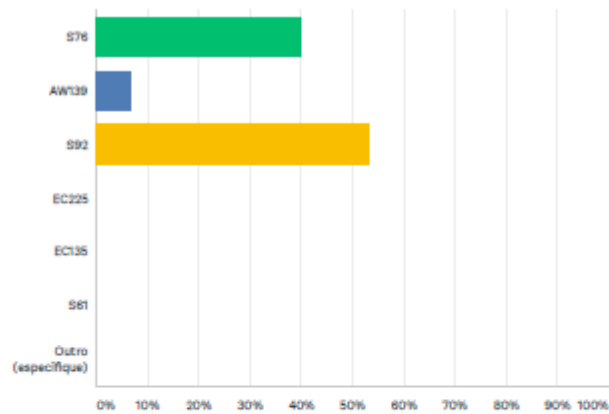
9. Qual sua experiência como piloto offshore?



OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
até 500 horas	6,67%	1
entre 500 e 1500 horas	0,00%	0
entre 1500 a 3000 horas	20,00%	3
mais de 3000 horas	73,33%	11
Nunca trabalhei como piloto offshore	0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

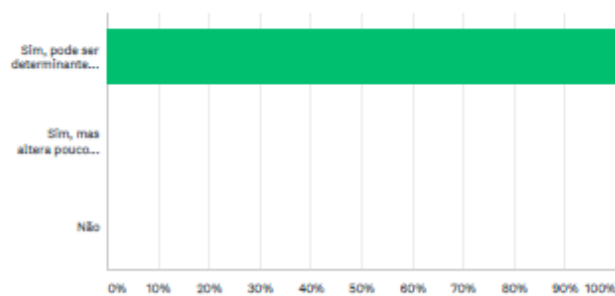


10. Qual helicóptero você está operando ou que operou por último (caso não esteja mais voando)?



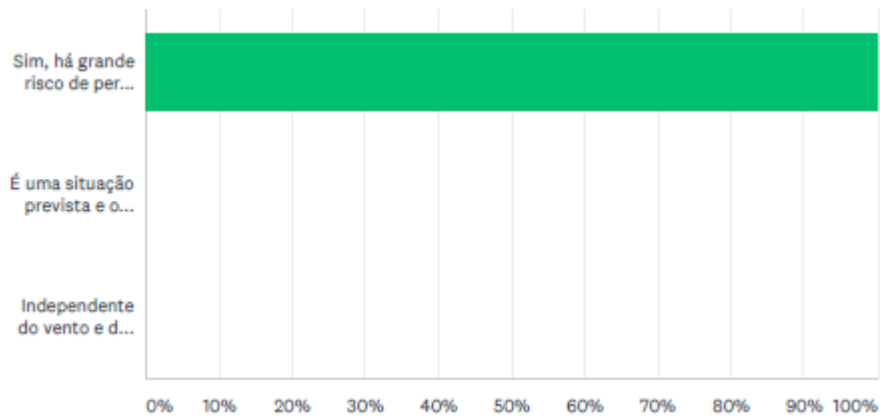
OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
▼ S76	40,00%	6
▼ AW139	6,67%	1
▼ S92	53,33%	8
▼ EC225	0,00%	0
▼ EC135	0,00%	0
▼ S61	0,00%	0
▼ Outro (especifique)	Respostas 0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

11. Baseado na sua experiência, faz diferença receber um vento livre de obstáculos em uma aproximação pra pouso?



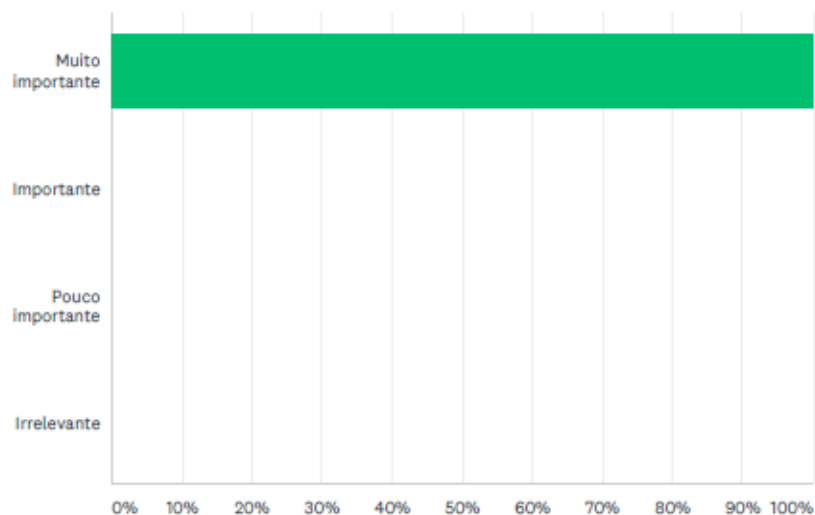
OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
▼ Sim, pode ser determinante para uma aproximação segura.	100,00%	15
▼ Sim, mas altera pouco a performance do helicóptero	0,00%	0
▼ Não	0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

12. Baseado em sua experiência, existe risco de operar com o "vento guardado" em unidades que tenham grandes estruturas próximas ao helideck (como na P35, P53, PCE-1 e etc)?



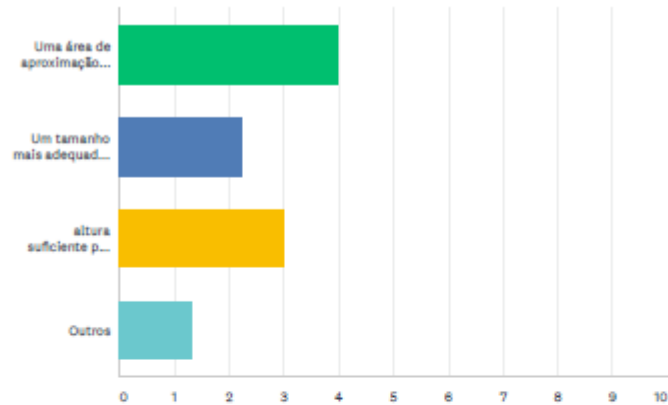
OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
▼ Sim, há grande risco de perder sustentação podendo causar um acidente	100,00%	15
▼ É uma situação prevista e o risco é baixo	0,00%	0
▼ Independente do vento e da estrutura, não ha risco de operação	0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

13. Na sua opinião, em caso de monomotor antes do pouso ou durante a transição do vôo pairado para a decolagem, a altura do helideck em relação o ao mar é...



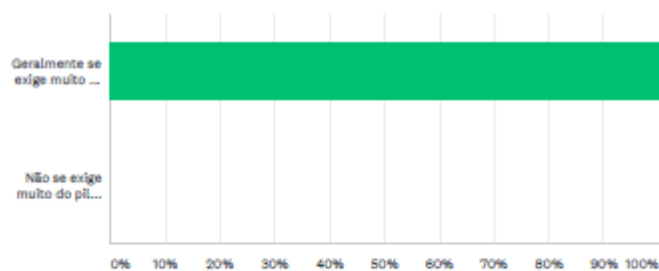
OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS	
▼ Muito importante	100,00%	15
▼ Importante	0,00%	0
▼ Pouco importante	0,00%	0
▼ Irrelevante	0,00%	0
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>

7. Por favor, onde "1" é o mais importante e o "4" é menos importante, na sua avaliação para uma operação segura, é importante que um helideck tenha...



	1	2	3	4	TOTAL	PONTUAÇÃO
Uma área de aproximação livre de obstáculos com "vento limpo"	100,00% 9	0,00% 0	0,00% 0	0,00% 0	9	4,00
Um tamanho mais adequado com uma maior margem de manobra	0,00% 0	33,33% 3	55,56% 5	11,11% 1	9	2,22
altura suficiente para uma recuperação monomotor	30,77% 4	38,46% 5	30,77% 4	0,00% 0	13	3,00
Outros	7,69% 1	0,00% 0	7,69% 1	84,62% 11	13	1,31

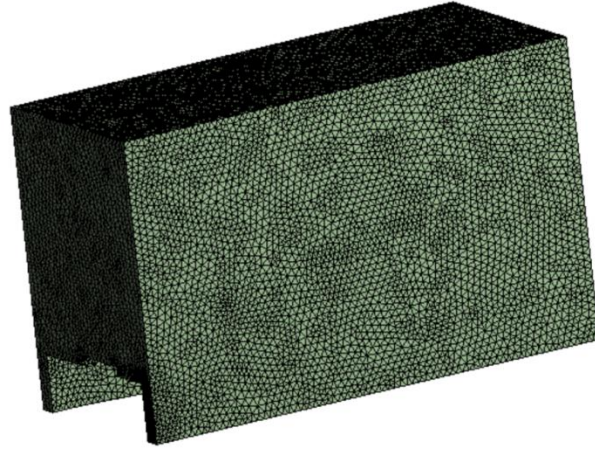
8. Na sua experiência, para uma operação segura nas unidades...



OPÇÕES DE RESPOSTA	RESPOSTAS
Geralmente se exige muito do piloto e/ou do helicóptero, não há muita margem pro erro.	100,00% 15
Não se exige muito do piloto e nem do helicóptero, há bastante margem para o erro.	0,00% 0
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

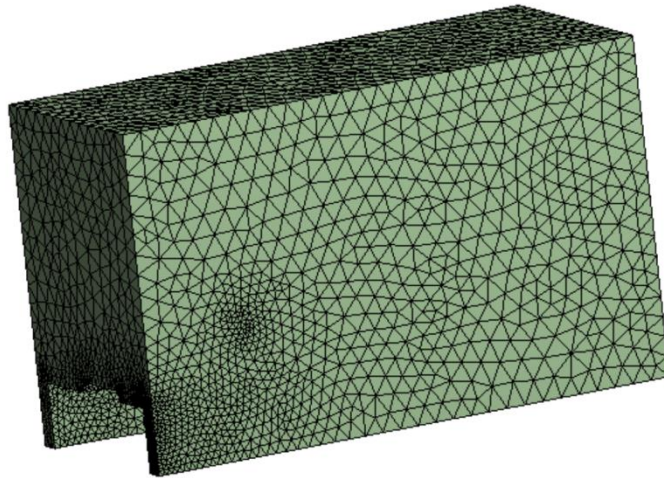
## 9. APÊNDICE B – ANÁLISE DE REFINO DE MALHA E RESULTADOS PARA 13 E 18 NÓS

Figura 27- Malha média



Fonte: A Autora

Figura 28- Malha Grossa



Fonte: A Autora

Tabela 5- Características das Malhas

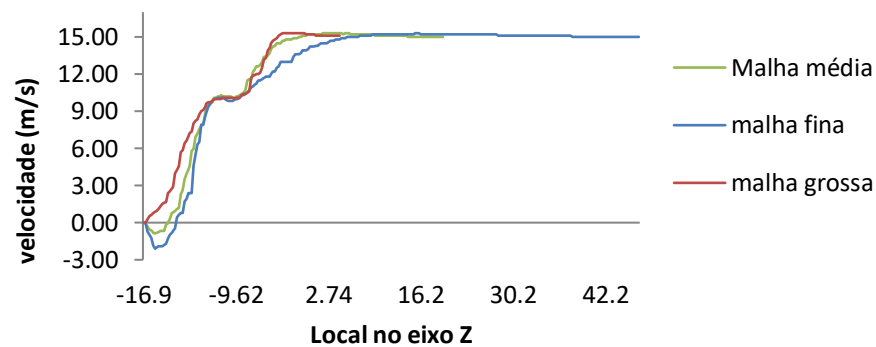
Malha	Número de Nós	Número de elementos
Fina	1309791	7450204
Média	424659	2290322
Grossa	315791	1669073

Fonte: A autora

A malha grossa foi o primeiro teste para simulação, foi utilizada para verificar se a simulação realmente rodaria. Após obter resultados positivos quanto à convergência do problema, iniciou-se o processo de refinamento da malha, de onde foram obtidos as malhas “média” e “fina”. A malha fina foi a melhor malha que esta autora conseguiu obter, pois para malhas com valores maiores de elementos o software não conseguiu gerar malha alguma, passando horas de cálculos sem produzir resultados.

A fim de avaliar a malha mais adequada compararam-se os resultados obtidos com o uso dos três tipos diferentes de malha para a componente longitudinal da velocidade (componente U) ao longo de uma linha vertical. Os resultados para as três malhas podem ser vistos no gráfico abaixo.

Figura 29- Comparação entre malhas

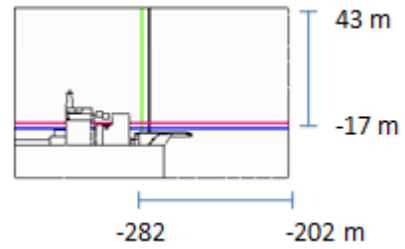
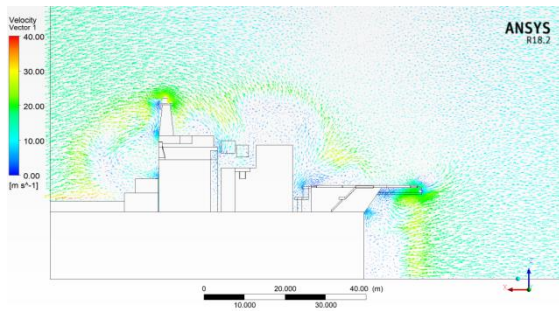


Fonte: A Autora

Analisando o gráfico acima é possível notar que o comportamento do escoamento é muito similar para as três malhas, a diferença entre cada malha está na velocidade do escoamento em cada região, neste quesito a malha grossa não registrou as variações da direção do escoamento em regiões onde houve a ocorrência de vórtice, já a malha média e fina registraram, além disso. Na região muito próxima ao helideck (-17 metros), por exemplo, observa-se que as curvas tendem ao valor de -2 m/s, nesta região ocorre um vórtice que a malha grossa não consegue registrar.

Na continuação estão apresentados os resultados referentes as velocidades de 13 e 18 nós para todas as condições de direção de vento.

Figura 30- Escoamento lateral 18 nós



Fonte: A Autora

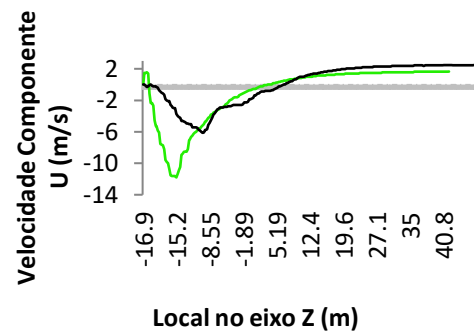
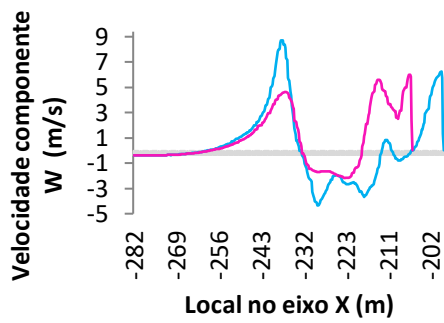
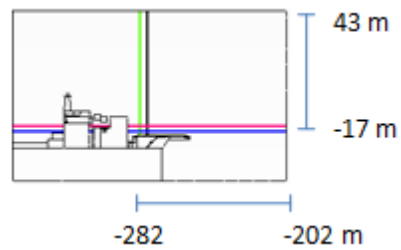
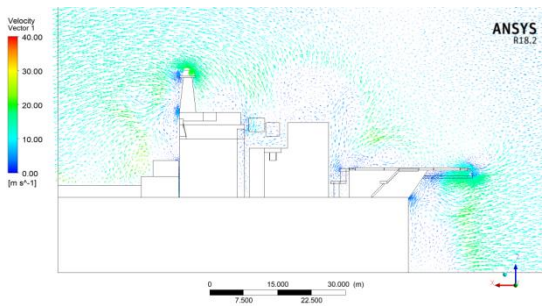


Figura 31- Escoamento lateral 13 nós



Fonte: A Autora

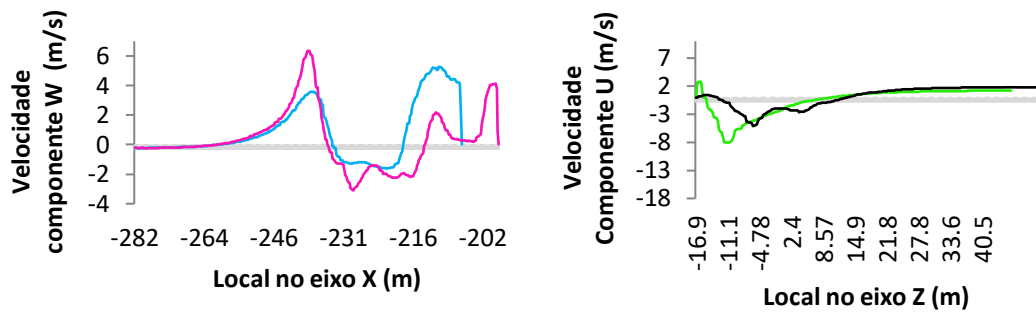
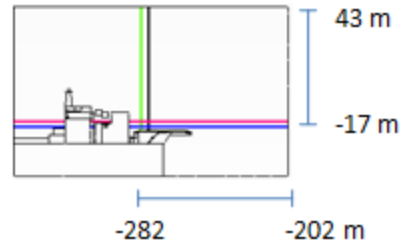
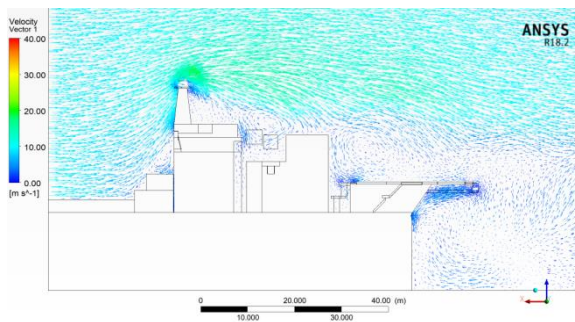


Figura 32- Escoamento proa 18 nós



Fonte: A Autora

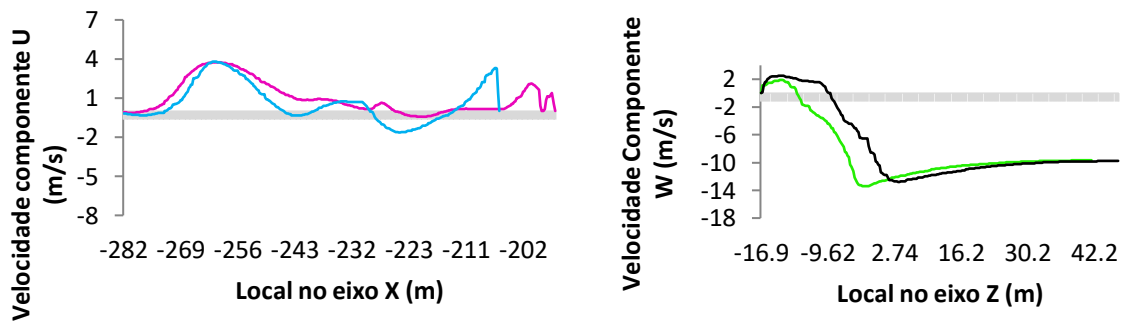
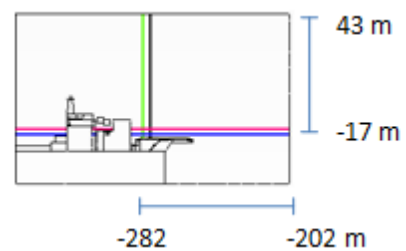
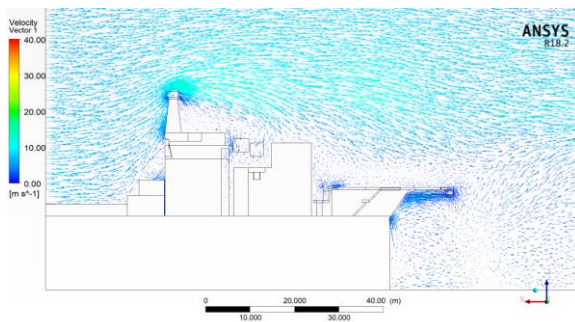


Figura 33- Escoamento proa 13 nós



Fonte: A Autora

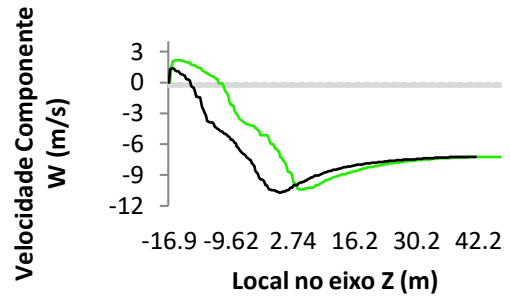
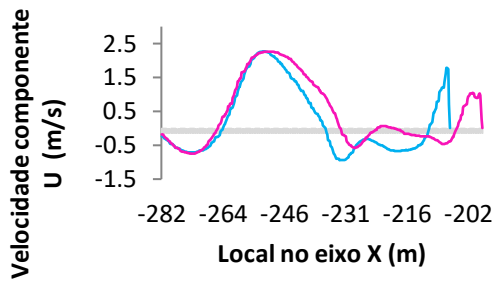
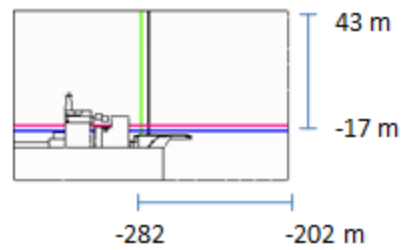
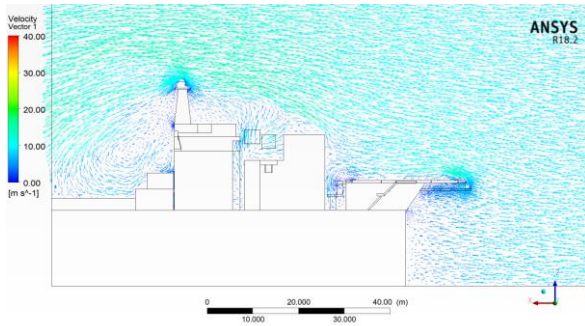


Figura 34- Escoamento popa18 nós



Fonte: A Autora

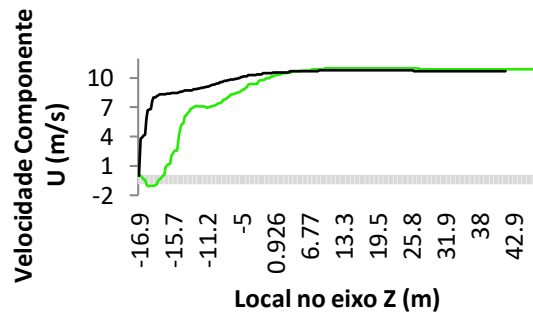
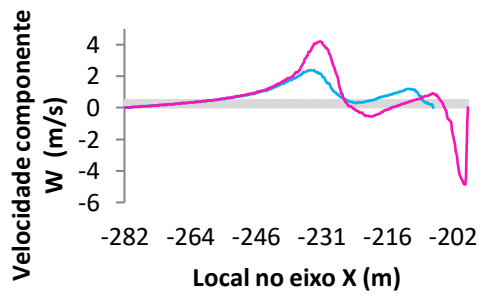
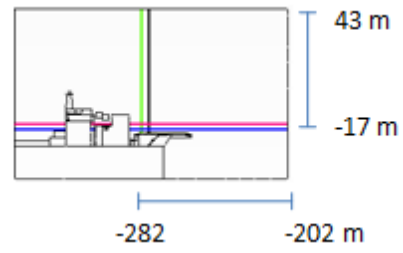
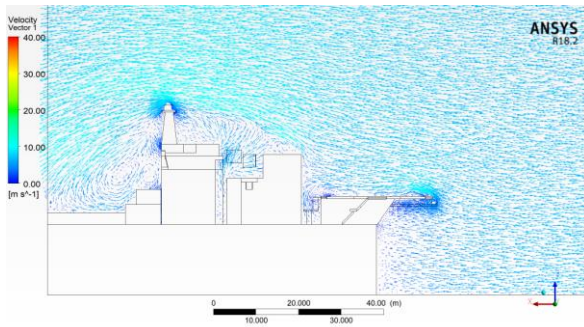




Figura 35- Escoamento popa 13 nós



Fonte: A Autora

