

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO NA
OTIMIZAÇÃO DE *MOONPOOLS* - CINETOSE

João Brito Alves

RECIFE

2017

João Brito Alves

ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO NA
OTIMIZAÇÃO DE *MOONPOOLS* - CINETOSE

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito de avaliação da mesma.

Área de concentração: Energia

Linha de pesquisa: Dinâmica dos fluidos

Orientadora: Paula Suemy Arruda Michima

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

A474e Alves, João Brito
 Elaboração e implementação do critério de conforto na otimização
 de moonpools - cintose/ João Brito Alves. – Recife, 2017.
 84 folhas, il., tabs.

Orientador(a): Profa. Dra. Paula Suemy Arruda Miranda

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Graduação em Engenharia Mecânica 2017.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Mecânica. 2. Cinetose. 3. Motion Sickness. 4.
Conforto. 5. Operabilidade. 6. Drillship. I. Michima, Paula Suemy
Arruda. (Orientadora). II. Título.

UFPE

621xCDD (22. ed.)

BCTG/2018-74



DEMEC
Departamento de Engenharia Mecânica
Centro de Tecnologia e Geociências – EEP

Ata da reunião

Trabalho de conclusão de curso

**ELABORAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO CRITÉRIO DE CONFORTO NA
OTIMIZAÇÃO DE *MOONPOOLS* - CINETOSE**

O candidato João Brito Alves apresentou seu trabalho de conclusão de curso - TCC em 21/12/2017 perante a banca composta pelos professores Paula Arruda Suemy Michima (orientadora); Marcos Pereira (examinador externo) e Francisco Espedito de Lima (examinador interno). A apresentação do trabalho sobre o jogo lateral de água interna ao moonpool teve duração de 30 minutos. Durante a apresentação, o engenheiro mostrou a relevância do trabalho e discorreu sobre o tema de forma clara e objetiva. Depois da apresentação, a banca passou a fazer comentários e sugestões sobre o trabalho, finalizando com algumas arguições ao candidato. Em separado a banca se reuniu e deliberou pela aprovação da candidata, atribuindo-lhe a média _____ () e julgando-o apto a concluir seu curso de Engenharia Mecânica junto a este departamento da Universidade Federal de Pernambuco.

Profª Paula Suemy Arruda Michima: _____ nota (_____)

Prof. Marcos Pereira: _____ nota (_____)

Prof. Francisco Espedito de Lima: _____ nota (_____)

Recife, 19 de Dezembro de 2017

Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira
Coordenador de TCC 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos pelo apoio, dedicação e incentivo.

Agradeço à minha orientadora Paula Michima, pela incondicional disponibilidade e apoio, guiando-me desde o início dessa pesquisa sempre dando a atenção e suporte fundamentais para esse trabalho. Agradeço também, aos demais professores que me auxiliaram nesse processo.

Agradeço aos colegas de curso, pelo companheirismo e espírito de corpo.

*“If you can force your heart and nerve and sinew
To serve your turn long after they are gone,
And so hold on when there is nothing in you
Except the Will which says to them: ‘Hold on!’”*

Rudyard Kipling

RESUMO

O ser humano, quando submetido a oscilações, está sujeito a diversas situações adversas que podem culminar em perda de capacidade de desempenho, produtividade ou até o surgimento de um problema de saúde mais grave, situação completamente indesejada. A cinetose ou enjoo associado ao movimento, dessa forma, é uma das “intempéries” que ocorrem quando o ser humano está embarcado em um navio, inclusive no *drillship*, objeto de estudo deste trabalho. No caso mais extremo ela leva à êmese e a uma possível desidratação em decorrência de vários desses episódios.

Logo, há a necessidade de se avaliar a cinetose nas fases iniciais de projeto num contexto de operabilidade da embarcação como um todo de maneira a prever quais situações são mais críticas quando se trata de conforto. Este trabalho propõe a inclusão de tal critério na análise de operabilidade de navios tipo *drillship*, que é uma embarcação dotada de *moonpool*, um acesso ao mar acesso ao mar pelo interior do convés. Também é objeto de estudo deste trabalho a análise de mudanças de comportamento das alturas máximas de operação conforme variação de geometria e a comparação delas com os limites de altura impostos por outros critérios estabelecidos em Michima, (2017).

Resultados obtidos com alguns exemplos de *moonpools* em 2 tipos de cascos mostram que o limite de altura de onda em que não ocorre a cinetose apresenta pouca variação com mudanças na geometria do *moonpool*, o que não ocorre quando há alterações na geometria do casco para os casos estudados neste trabalho. O *motion sickness* tem maior importância em períodos significativos de onda próximos a 6 s com incidência de onda de través, mostrando-se, assim, ser um critério relevante na análise global de operabilidade.

Palavras-chave: Cinetose. *Motion Sickness*. Conforto. Operabilidade. *Drillship*

ABSTRACT

The human being, when subjected to vibrations may suffer from adverse situations that could end up in a loss in performance, productivity or even a more severe health problem, which is a completely undesirable situation. Kinetosis, or nausea associated to motion, is among the worst problems that someone might have aboard a ship, including drillships. In its extreme case, emesis could lead to dehydration after various episodes.

Therefore, kinetosis has to be analysed in the early phases of a project, in an operability approach of the whole ship, allowing the prediction of the most critical situations for comfort. The present work proposes the insertion of such criterion to the analysis of operability of drillships, which is a sea vessel with moonpool, an access to the sea through the deck. It is also object of study of this work the analysis in behaviour changes of the maximum operable height due to geometry variation and the comparison of kinetosis maximum heights with other criterions established in Michima, (2017).

Results obtained from some examples of moonpools, in 2 hull formats, shows that the maximum operable height for kinetosis has little variation due to changes in the moonpool's geometry, which is not the case when there are changes in the drillship's hull geometry. Motion sickness has more relevance in significant periods approximate equal to 6 s with incidence of crosswave, therefore it is a relevant criterion in the global analysys of operability.

Keywords: Kinetosis. Motion Sickness. Comfort. Operability. Drillship

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre o ambiente de vibração e o efeito que ela gera	17
Figura 2: Frequências e acelerações r.m.s ponderadas para cada efeito.....	18
Figura 3: Áreas correlatas à vibração do corpo humano	21
Figura 4: Modelo do corpo humano e algumas frequências naturais.	22
Figura 5: Classificação das vibrações.....	23
Figura 6: Modelo comparativo de como o movimento é percebido. a) motorista dirigindo e b) passageiro lendo jornal	24
Figura 7: Diagrama da cinetose	26
Figura 8: MSI após 2h em função da frequência e da aceleração referente ao primeiro modelo	28
Figura 9: MSI após 2h em função da frequência e da aceleração referente ao segundo modelo	30
Figura 10: Exemplo de curva de adaptação. MSI versus tempo	30
Figura 11: O Drillship.....	34
Figura 12: Sistema de coordenadas	36
Figura 13: Exemplo de RAO de um drillship para o movimento de Heave.....	37
Figura 14: Pontos selecionados na provável posição do passadiço em meio casco	40
Figura 15: Exemplo de gráfico de operabilidade.....	41
Figura 16: Formato de moonpool parametrizado	42
Figura 17: Malha de formato Retangular para meio casco.....	43
Figura 18: Malha de formato Oval para meio casco	43
Figura 19: Malha de formato Irregular para meio casco	44
Figura 20: Malha de casco série 60	44
Figura 21: Malha de casco drillship	45
Figura 22: Comparativo entre alturas máxima de onda para cada moonpool e casco sem a onda quebrar entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s.....	46
Figura 23: Detalhes da Figura 22 a) 0° e b) 90°.....	46
Figura 24: Altura máxima de onda para os outros critérios e a cinetose, formato irregular, entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s	47
Figura 25: Altura máxima de onda para os outros critérios e a cinetose, formato retangular Série 60, entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s.....	48
Figura 26: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 0^\circ$	49
Figura 27: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 30^\circ$	50
Figura 28: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 60^\circ$	50
Figura 29: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 90^\circ$	50
Figura 30: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 120^\circ$	51
Figura 31: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 150^\circ$	51
Figura 32: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 180^\circ$	51

Figura 33: Exemplo de Operabilidade 1.....	52
Figura 34: Exemplo de Operabilidade 2.....	52
Figura 35: 4s, Bretchneider Long Crested, Retangular	66
Figura 36: 8s, Bretchneider Long Crested, Retangular	66
Figura 37: 10s, Bretchneider Long Crested, Retangular	66
Figura 38: 4s, Bretchneider Short Crested, Retangular	66
Figura 39: 8s, Bretchneider Short Crested, Retangular	66
Figura 40: 10s, Bretchneider Short Crested, Retangular	66
Figura 41: 12s, Bretchneider Long Crested, Retangular	67
Figura 42: 4s, IACS Long Crested, Retangular	67
Figura 43: 8s, IACS Long Crested, Retangular	67
Figura 44: 12s, Bretchneider Short Crested, Retangular	67
Figura 45: 4s, IACS Short Crested, Retangular.....	67
Figura 46: 8s, IACS Short Crested, Retangular.....	67
Figura 47: 10s, IACS Long Crested, Retangular	68
Figura 48: 12s, IACS Long Crested, Retangular	68
Figura 49: 4s, JONSWAP Long Crested, Retangular	68
Figura 50: 10s, IACS Short Crested, Retangular.....	68
Figura 51: 12s, IACS Short Crested, Retangular.....	68
Figura 52: 4s, JONSWAP Short Crested, Retangular	68
Figura 53: 8s, JONSWAP Long Crested, Retangular	69
Figura 54: 10s, JONSWAP Long Crested, Retangular	69
Figura 55: 12s, JONSWAP Long Crested, Retangular	69
Figura 56: 8s, JONSWAP Short Crested, Retangular	69
Figura 57: 10s, JONSWAP Short Crested, Retangular	69
Figura 58: 12s, JONSWAP Short Crested, Retangular	69
Figura 59: 4s, Bretchneider Long Crested, Oval	70
Figura 60: 8s, Bretchneider Long Crested, Oval	70
Figura 61: 10s, Bretchneider Long Crested, Oval	70
Figura 62: 4s, Bretchneider Short Crested, Oval.....	70
Figura 63: 8s, Bretchneider Short Crested, Oval.....	70
Figura 64: 10s, Bretchneider Short Crested, Oval.....	70
Figura 65: 12s, Bretchneider Long Crested, Oval	71
Figura 66: 4s, IACS Long Crested, Oval.....	71
Figura 67: 8s, IACS Long Crested, Oval.....	71
Figura 68: 12s, Bretchneider Short Crested, Oval.....	71
Figura 69: 4s, IACS Short Crested, Oval	71
Figura 70: 8s, IACS Short Crested, Oval	71
Figura 71: 10s, IACS Long Crested, Oval.....	72
Figura 72: 12s, IACS Long Crested, Oval.....	72
Figura 73: 4s, JONSWAP Long Crested, Oval	72
Figura 74: 10s, IACS Short Crested, Oval	72
Figura 75: 12s, IACS Short Crested, Oval	72
Figura 76: 4s, JONSWAP Short Crested, Oval	72
Figura 77: 8s, JONSWAP Long Crested, Oval	73
Figura 78: 10s, JONSWAP Long Crested, Oval	73
Figura 79: 12s, JONSWAP Long Crested, Oval	73

Figura 80: 8s, JONSWAP Short Crested, Oval	73
Figura 81: 10s, JONSWAP Short Crested, Oval	73
Figura 82: 12s, JONSWAP Short Crested, Oval	73
Figura 83: 4s, Bretchneider Long Crested, Irregular	74
Figura 84: 8s, Bretchneider Long Crested, Irregular	74
Figura 85: 10s, Bretchneider Long Crested, Irregular	74
Figura 86: 4s, Bretchneider Short Crested, Irregular	74
Figura 87: 8s, Bretchneider Short Crested, Irregular	74
Figura 88: 10s, Bretchneider Short Crested, Irregular	74
Figura 89: 12s, Bretchneider Long Crested, Irregular	75
Figura 90: 4s, IACS Long Crested, Irregular	75
Figura 91: 8s, IACS Long Crested, Irregular	75
Figura 92: 12s, Bretchneider Short Crested, Irregular	75
Figura 93: 4s, IACS Short Crested, Irregular	75
Figura 94: 8s, IACS Short Crested, Irregular	75
Figura 95: 10s, IACS Long Crested, Irregular	76
Figura 96: 12s, IACS Long Crested, Irregular	76
Figura 97: 4s, JONSWAP Long Crested, Irregular	76
Figura 98: 10s, IACS Short Crested, Irregular	76
Figura 99: 12s, IACS Short Crested, Irregular	76
Figura 100: 4s, JONSWAP Short Crested, Irregular	76
Figura 101: 8s, JONSWAP Long Crested, Irregular	77
Figura 102: 10s, JONSWAP Long Crested, Irregular	77
Figura 103: 12s, JONSWAP Long Crested, Irregular	77
Figura 104: 8s, JONSWAP Short Crested, Irregular	77
Figura 105: 10s, JONSWAP Short Crested, Irregular	77
Figura 106: 12s, JONSWAP Short Crested, Irregular	77
Figura 107: 4s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60	78
Figura 108: 8s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60	78
Figura 109: 10s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60	78
Figura 110: 4s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60	78
Figura 111: 8s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60	78
Figura 112: 10s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60	78
Figura 113: 12s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60	79
Figura 114: 4s, IACS Long Crested, Retangular Série 60	79
Figura 115: 8s, IACS Long Crested, Retangular Série 60	79
Figura 116: 12s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60	79
Figura 117: 4s, IACS Short Crested, Retangular Série 60	79
Figura 118: 8s, IACS Short Crested, Retangular Série 60	79
Figura 119: 10s, IACS Long Crested, Retangular Série 60	80
Figura 120: 12s, IACS Long Crested, Retangular Série 60	80
Figura 121: 4s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60	80
Figura 122: 10s, IACS Short Crested, Retangular Série 60	80
Figura 123: 12s, IACS Short Crested, Retangular Série 60	80
Figura 124: 4s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60	80
Figura 125: 8s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60	81
Figura 126: 10s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60	81

Figura 127: 12s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60	81
Figura 128: 8s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60	81
Figura 129: 10s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60	81
Figura 130: 12s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60	81
Figura 131: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato oval, casco drillship	82
Figura 132: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato irregular, casco drillship	82
Figura 133: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato retangular, casco drillship	83
Figura 134: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato retangular, casco série 60.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelo de escala de desconforto.....	33
Tabela 2: Acelerações (RMS) e rolamento máximos permitidos (NORDFORSK 1987)	34

LISTA DE SIMBOLOS

β	Ângulo de incidência das ondas no navio
π	Razão entre o perímetro de um círculo e seu diâmetro ($\pi \approx 3,1415$)
μ	Parâmetro de forma da equação (1) (determinados empiricamente)
μ_{msi}	Parâmetro de forma da equação (4) (determinados empiricamente)
μ'	Amortecimento de Rayleigh
σ	Parâmetro de forma da equação (1) (determinados empiricamente)
ρ	Coeficiente de Correlação (definido em McCauley, Royal <i>et al.</i> (1976)
ρ'	Massa específica da água
$\Phi(z)$	Função de distribuição cumulativa de z
ϕ	Potencial de Velocidade
φ	Potencial de Velocidade por unidade de movimento
<i>MSI</i>	Motion Sickness Incidence
$\bar{a}$	Aceleração vertical média para meio ciclo
f	Frequência da oscilação incidente em Hz
t	Variável temporal em s
<i>MSDV</i>	<i>Motion Sickness Dose Value</i>
<i>VI</i>	<i>Vomiting Incidence</i>
a_w	Aceleração vertical filtrada
$\ddot{z}^n$	Aceleração vertical
ω_e	Frequência angular de encontro
ω	Frequência angular da onda incidente
T	Tempo total de exposição a oscilações nauseogênica
Km	Constante que representa características da população em relação a cinetose
i	Unidade imaginária $\sqrt{-1}$
G	Função de Green

S_H	Superfície do casco
S_{MP}	Superfície lateral do <i>moonpool</i>
S_{MF}	Superfície livre do <i>moonpool</i>
S_F	Superfície livre do mar
S_B	Superfície do leito do mar
S_∞	Região de contorno a uma distância muito distante do navio
K	Número de onda
H_z	RAO de aceleração vertical
S_{wave}	Espectro de onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	TEMA DE PESQUISA.....	15
1.2	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	PERGUNTA DE PESQUISA.....	19
1.4	MOTIVAÇÃO	19
1.5	OBJETIVOS DO TRABALHO	20
1.5.1	Objetivo geral.....	20
1.5.2	Objetivos específicos	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	A VIBRAÇÃO SOBRE O CORPO HUMANO	22
2.1.1	A Cinetose.....	23
2.1.1.1	Modelos Matemáticos para Incidência de Cinetose	27
2.1.1.2	As normas	33
2.2	<i>O DRILLSHIP</i>	34
2.2.1	Aceleração	35
3	METODOLOGIA.....	39
4	RESULTADOS E ANÁLISE.....	46
5	CONCLUSÕES.....	53
6	TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE	57
	APÊNDICE B – OPERABILIDADE EM DIFERENTES PERÍODOS E ESPECTROS	66
	APÊNDICE C – OPERABILIDADE GLOBAL (CINETOSE)	82

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da navegação, seja ela terrestre ou marítima, o homem está sujeito a cargas oscilatórias que podem diminuir significativamente a sua capacidade de executar tarefas, ou ainda, afetar sua saúde de maneira temporária ou permanente. Ainda mais, conforme Mansfield (2005), as atividades inerentes ao desejo do homem de explorar, construir e criar estão relacionadas, cada qual a uma forma de vibração. O que diferencia uma da outra é o tempo de exposição, a magnitude e a frequência da vibração.

Dessa forma o conforto, como um critério de avaliação e análise da resposta do ser humano àquele estímulo externo, é uma variável importante que deve ser considerada no projeto de máquinas e equipamentos dos mais simples aos mais complexos, mesmo que essa vibração seja sentida de maneira indireta.

A manutenção da operabilidade de um navio se mostra importante sob diversos aspectos. Além de fatores de cunho financeiro, ela também está relacionada à integridade da embarcação e a segurança da tripulação. Ao garantir que o navio seja capaz de suportar às condições impostas pelo mar característico da região de operação e que a tripulação, nesse mar, tenha um conforto tal que permita a continuidade do seu trabalho, reduz-se consideravelmente o risco de submeter o navio e tripulação a situações críticas. Ao se avaliar as respostas do navio ao movimento das ondas, determina-se as condições de trabalho da tripulação, a qual é menos exposta a oscilações desconfortáveis e potencialmente perigosas durante a operação.

1.1 TEMA DE PESQUISA

Operabilidade de navios-sonda de perfuração em operação sob efeito de ondas sem velocidade de avanço.

1.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho vem a complementar uma pesquisa de maior abrangência sobre a operabilidade de navios sonda em desenvolvimento, conforme observado em Michima e

Kawabe (2014) e Michima (2017), nos quais não se considera o critério de conforto da tripulação na operabilidade global da embarcação.

De maneira geral, organizações internacionais e locais como: OMS¹; ISO²; BSI³; DNV⁴; e NATO⁵ estabelecem padrões para avaliar o método de análise da vibração sobre o corpo humano. No caso específico da ISO e da BSI, há diferenciação entre vibrações de corpo inteiro e locais como, por exemplo, a vibração sobre o segmento mão-punho-braço, ou a vibração sobre o segmento pé-tornozelo-perna. Há também, uma classificação em efeitos específicos à saúde, ao conforto, à percepção e à incidência de cinetose (*motion sickness*). Apesar de as normas servirem de referência para a análise, elas não possuem dados para todas as frequências, magnitudes e tempos de exposição. Isso se deve a um dos seguintes fatores:

- Determinados efeitos têm significância apenas em uma faixa restrita de frequências, sendo os demais valores desprezíveis ou ineficazes;
- Determinados tempos de exposição são inseguros, ou até mesmo inviáveis, na execução de um teste;
- Determinadas magnitudes são tão danosas que não devem ser alcançadas;

Dessa forma, para cada análise é interessante que se limite um intervalo de parâmetros, principalmente os citados acima, com a finalidade de se avaliar um efeito específico. Obviamente, tomam-se os cuidados necessários ao se tratar o ser humano como uma ferramenta de testes.

“O corpo é altamente sensível a diversas formas de movimento e quase todo ambiente pode produzir vibrações de corpo inteiro suficientes, de maneira a ser avaliada sua importância. A natureza da vibração, as características da pessoa que foi exposta à vibração, e os efeitos da vibração podem variar bastante de um ambiente para o outro.”⁶ (GRIFFIN, 1990, p. 26, traduzido pelo autor). O diagrama mostrado na figura 1 permite uma observância geral sobre esses aspectos citados.

¹ OMS - Organização Mundial da Saúde

² ISO - International Organization for Standardization

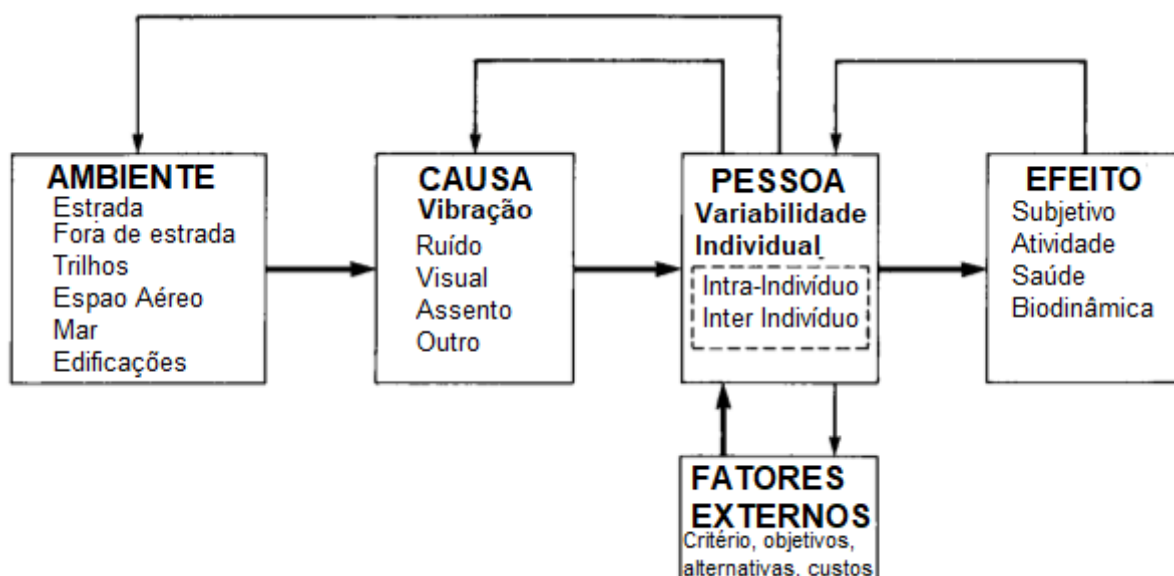
³ BSI - British Standards Institution

⁴ DNV - Det Norske Veritas

⁵ NATO - North Atlantic Treaty Organization

⁶ “The body is highly sensitive to many types of motion and almost any environment can produce sufficient whole-body vibration for there to be a need to assess its importance. The nature of the vibration can vary greatly from one environment to another.”

Figura 1: Relação entre o ambiente de vibração e o efeito que ela gera



Fonte: Adaptado de Griffin, 1990

A regra geral é que frequências extremamente baixas, entre 0,01Hz e 1Hz, formam o intervalo no qual há maior incidência de cinetose, objeto de estudo deste trabalho. Além de variar conforme a frequência, ela é influenciada pela amplitude e pelo tempo de exposição.

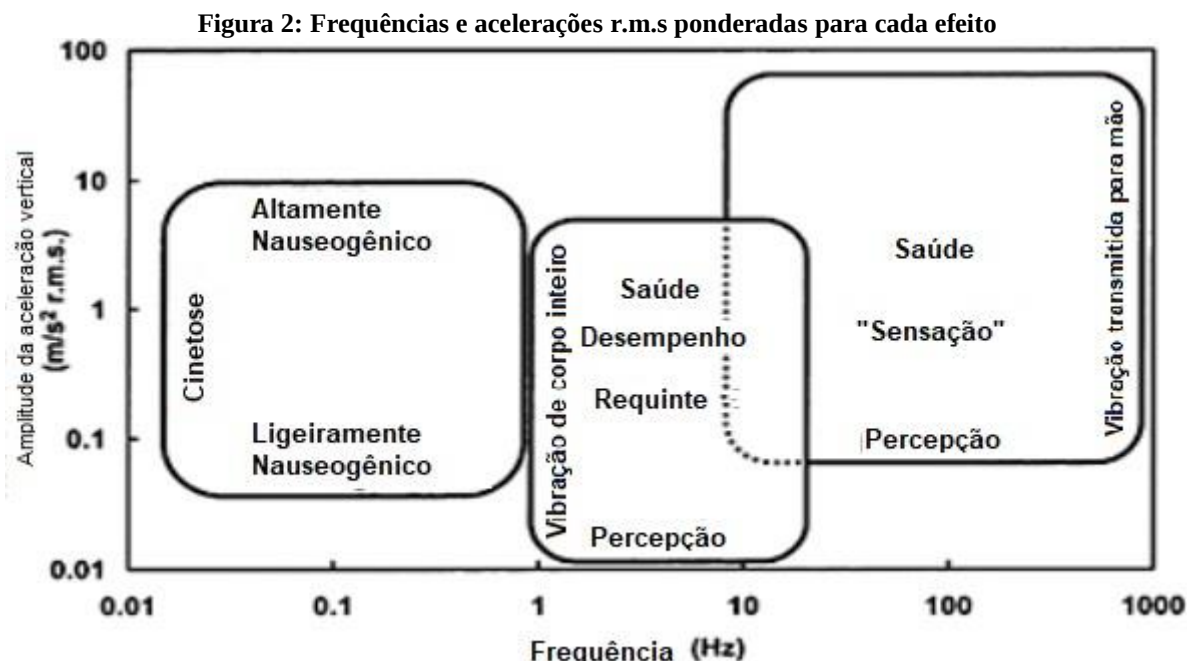
De 1Hz até aproximadamente 1000Hz encontram-se os outros efeitos, que se estendem desde a percepção até danos à saúde, conforme figura 2. Acelerações constantes e de magnitude elevada, da ordem de 4 a 6 g, sendo g a aceleração da gravidade, podem ocasionar o *G-LOC*⁷, gerando assim uma hipóxia⁸ cerebral que em tempos prolongados pode levar o indivíduo a óbito. Salienta-se que com os devidos treinamentos, um indivíduo pode suportar cerca de 9 g sem perder a consciência, conforme Jedick (2013). Há ainda o efeito reverso, no qual a aceleração elevada é no sentido que aponta para a cabeça da pessoa, o que pode sobrecarregar o sistema vascular cerebral podendo resultar num AVC⁹. Conforme Jedick (2013), o limite tolerável para esse efeito é bem menor, embora ele não tenha especificado qual seria esse limite.

Em geral, as oscilações de maior frequência também influenciam no aumento de fadiga da tripulação e, portanto, impactam significativamente o desempenho das pessoas submetidas àquele tipo de estímulo. A análise de fadiga da tripulação não será aprofundada neste trabalho.

⁷ *G-LOC - G-force induced loss of consciousness*

⁸ Baixa concentração de oxigênio

⁹ Acidente Vascular Cerebral



Fonte: Adaptado de Mansfield, 2005

No caso específico deste trabalho, será dada ênfase sobre os efeitos da vibração de baixa frequência e diferente de zero, ou seja, sem levar em consideração outras fontes de excitação que não seja o mar. Como regra geral, os oceanos imprimem sobre os navios cargas oscilatórias dentre as quais as de altas magnitudes e frequências extremamente baixas provocam alguma resposta do casco em forma de movimento oscilatório. As outras fontes, de maneira geral, seriam de média e de alta frequência provenientes de máquinas rotatórias ou alternativas, que funcionam em altas rotações (ou a grande quantidade de golpes por minuto). As normas mais conhecidas na análise da vibração de corpo inteiro são: BS 6841:1987, ISO 2631-1:1997 e NATO STANAG 4154. A ISO e a BSI regulamentam a execução da análise de vibração para cada abordagem. A NATO determina alguns parâmetros limitantes, algum dos quais serão descritos na seção 2.1.1.2, sobre as normas. Quanto à cinetose, a DNV em DET NORSKE VERITAS (2012), informa que pode ocorrer cinetose mais frequentemente em oscilações entre 0,1 e 0,5 Hz.

Apesar deste trabalho se ater ao aspecto negativo da vibração de baixa frequência, ela nem sempre é maléfica. Conforme Griffin (1990), a vibração em determinadas faixas de frequência e magnitude pode ser usada por fisioterapeutas em diversos tipos de tratamentos, como o da artrite reumática, na recuperação de amputados, na reabilitação de paraplégicos, entre outras aplicações.

1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

Qual a influência da movimentação de um navio tipo *drillship* sobre o ser humano?
Como mitigá-la?

1.4 MOTIVAÇÃO

Antes de qualquer outro fator, determinar a operabilidade de uma embarcação é assegurar a integridade da estrutura, dos equipamentos e das pessoas que estiverem a bordo. Logo, no projeto de um navio, além de critérios relativos à plenitude do mesmo, alguns dos quais foram avaliados por Michima e Kawabe (2014) e Michima (2017), é necessário que se considere a variável humana, já que ela pode ser a mais crítica em algumas situações. Portanto, a inclusão dessa variável abrange o conhecimento dos limites de operação do navio melhorando a tomada de decisões.

A variável humana engloba ergonomia, o controle de ruídos e temperatura, entre outros. De maneira geral, na fase inicial de definição da geometria da embarcação essas outras considerações não são avaliadas, apenas a cinetose, já que ela é uma das mais influenciadas pela onda incidente no navio. Em Cepowski (2010), observa-se que a geometria da embarcação influencia na distribuição de acelerações que em magnitudes e frequências específicas tendem a aumentar a incidência de vômito dos indivíduos a bordo

Ainda, conforme Griffin (1990), a vibração do corpo humano - que é uma estrutura complexa, ativa, inteligente e dinâmica - não é simples e nem facilmente previsível. A vibração pode ser incômoda, nauseante, emocionante, torturante, uma fonte de prazer, ou a causa de profunda dor. Logo, fica evidente a necessidade de se observar quais são as influências dessas vibrações sobre o ser humano e qual melhor maneira de avaliá-las.

Caso esse critério seja ignorado, a embarcação poderá ter severas limitações ao uso, comprometendo o máximo aproveitamento para o qual fora projetado. Ou ainda, de maneira mais grave, ela pode vir a ser o meio facilitador de gerar doenças ou enfermidades que podem desencadear a incapacidade laboral ao longo de anos de exposição. Conforme Balbinot (2001), baseado em dados da OMS, é estimado que os danos relacionados ao trabalho causados aos indivíduos são os responsáveis por aproximadamente 300 mil mortes e por 250 milhões de

acidentes anuais, sendo grande parte em decorrência de vibrações. E ainda inúmeros novos casos de doenças relacionadas ao trabalho são registrados. A vibração pode causar perturbações musculoesqueléticas, neurológicas e vasculares além de outras patologias.

Portanto, delimitar a operabilidade do navio é uma maneira eficaz de reduzir a probabilidade de surgimento de tais patologias (ou, de novas) nos tripulantes à longo prazo. Preservando, assim a vida do tripulante.

1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.5.1 Objetivo geral

Entender os mecanismos através dos quais passa a existir um limitante para a operabilidade do navio, sob a ótica da tripulação, ao que neste trabalho denomina-se conforto. Além disso, estabelecer estratégias para cálculo e determinação de um critério para essa operabilidade ser considerada crítica ou nula.

1.5.2 Objetivos específicos

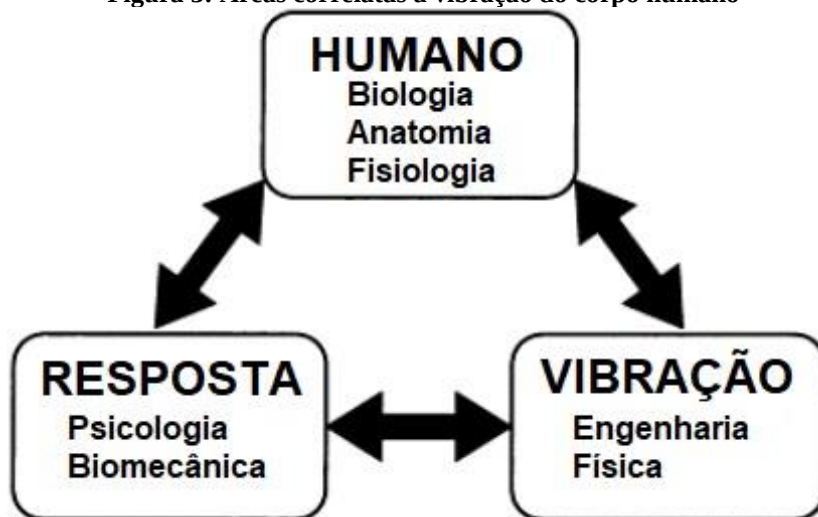
- Entender quais mecanismos, quais possíveis razões da cinetose e quais efeitos causados no ser humano;
- Buscar o modelo mais aceito para cálculos de previsibilidade de ocorrência da cinetose para determinado estado de mar, com velocidade de avanço nula;
- Desenvolver algoritmo e código de programa que calcula o espectro ponderado de aceleração de determinados pontos do navio, através de adaptação de programa previamente elaborado.
- Elaborar, algoritmo para cálculo e comparação da máxima altura de onda para o novo critério de operabilidade em diferentes ângulos de incidência e diferentes períodos de onda significativos com os demais critérios já implementados no projeto a que este trabalho pertence.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme descrito na seção 1.4, sobre a motivação, para uma série de ambientes - principalmente os móveis - o homem está sujeito a cargas oscilatórias que podem afetar suas condições, não apenas laborais, mas também de saúde e bem-estar. A resposta dele à vibração depende de características psicológicas e biodinâmicas envolvendo inclusive os tamanhos dos órgãos e suas frequências de ressonância (ou, frequências naturais), as quais diferem bastante entre indivíduos, conforme figura 4, um modelo extremamente simplificado do corpo humano. Há ainda o fator acoplamento entre membros e juntas que aumenta a complexidade da análise. Em média, 95% das pessoas acabam por se habituar às oscilações após algum tempo de exposição, o qual pode variar de poucas horas até alguns dias a depender da agressividade do mar, conforme Wertheim (1998) citado por Stevens e Parsons (2002).

Portanto no estudo da resposta do corpo humano às vibrações há uma multidisciplinaridade, pois ela engloba diversas áreas do conhecimento, como: engenharia, psicologia, ciências naturais, medicina clínica, ergonomia, entre outros, conforme descrito por Mansfield (2005) e ilustrado na figura 3.

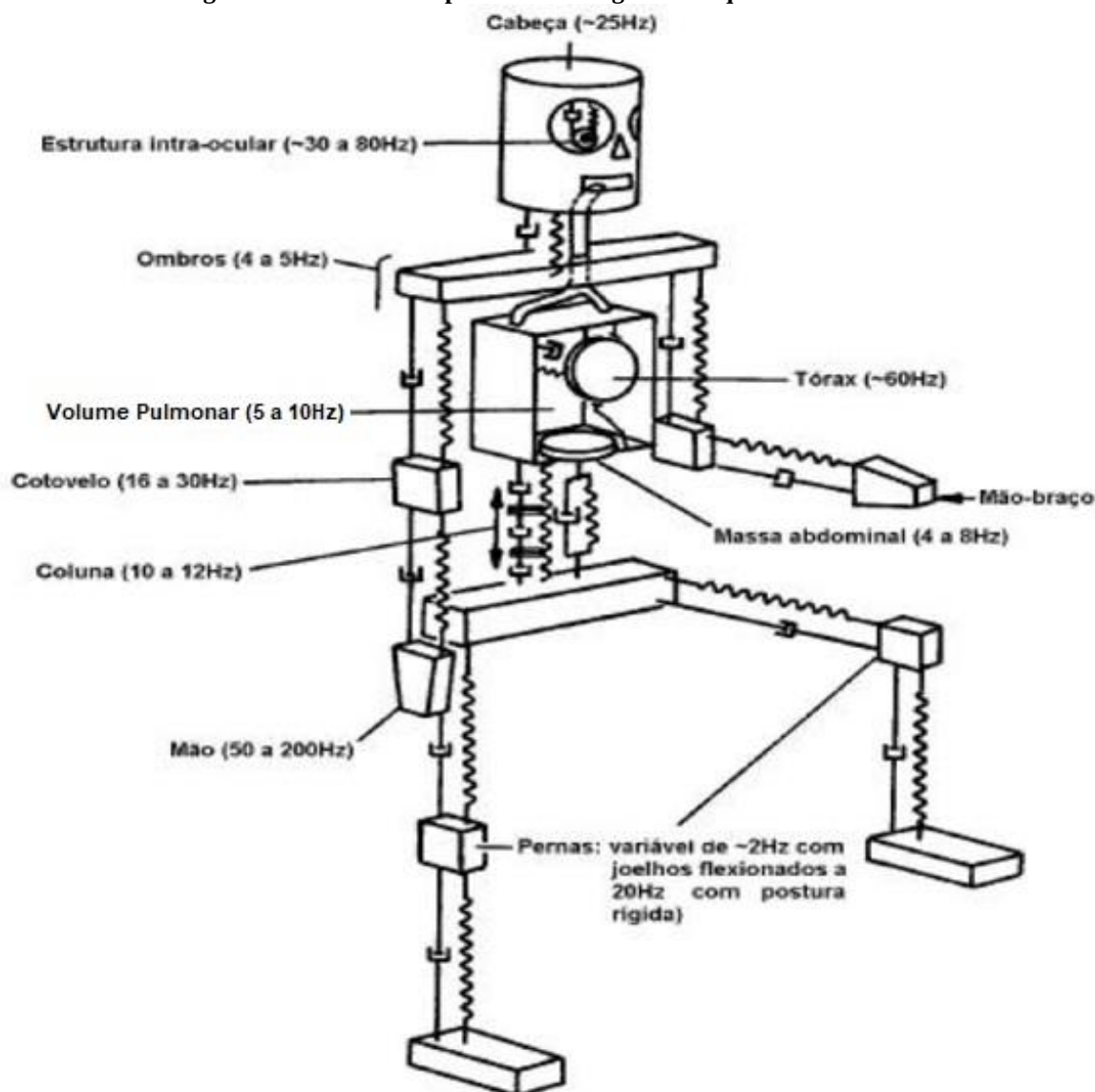
Figura 3: Áreas correlatas à vibração do corpo humano



Fonte: Adaptado de Mansfield, 2005

Este capítulo contém, um breve resumo sobre as vibrações no corpo humano, seguido pela apresentação do que é previsto em norma, e definição da cinetose. Exposição da hipótese de ocorrência mais aceita, algumas consequências, e alguns modelos matemáticos de previsão da incidência da cinetose. Então é abordado a relação com *drillships* e da resposta desse tipo de embarcação quando sujeita a ondas.

Figura 4: Modelo do corpo humano e algumas frequências naturais.



Fonte: Adaptado de Brüel & Kjær, 2000

2.1 A VIBRAÇÃO SOBRE O CORPO HUMANO

As vibrações incidentes podem assumir várias formas conforme descrito na figura 5. Em geral, assume-se que a vibração incidente é aleatória e estacionária. No caso de navios submetidos à excitação do mar, o presente modelo representa a onda incidente como uma superposição de ondas senoidais.

Oscilações aleatórias em regime não-estacionário e oscilações não periódicas, como cargas de choque, são de complexa resolução analítica e, quando implementadas em programas de computador, exigem uma capacidade de processamento muito elevada. Esse tipo de análise torna-se então muito “custoso” para executar em computadores domésticos comuns.

Figura 5: Classificação das vibrações



Fonte: Adaptado de Griffin, 1990

2.1.1 A Cinetose

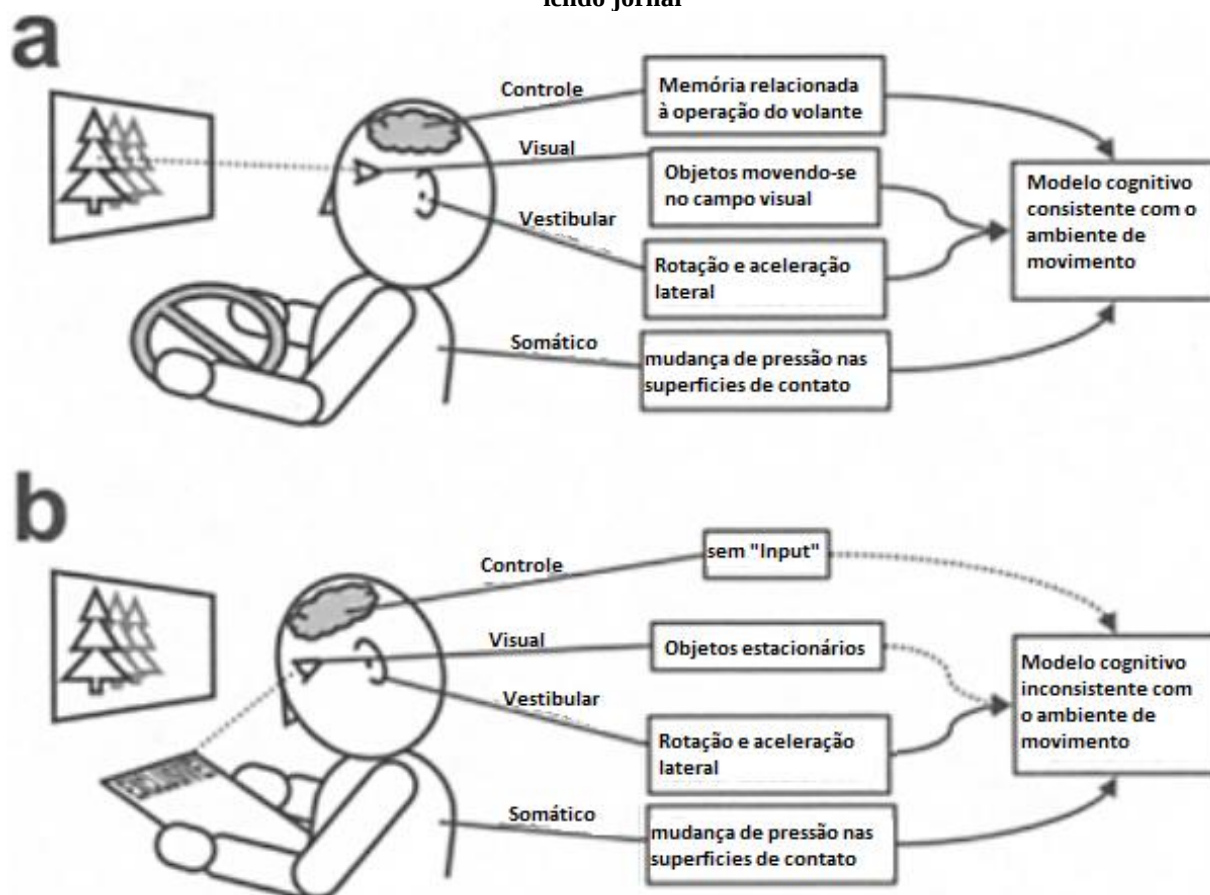
Cinetose, ou *motion sickness* é a náusea associada ao movimento. É comum a existência de relatos de pessoas que já sentiram náusea, ou que sofreram êmese (vomitaram) quando num ambiente sujeito a movimento. Tende-se a associar a causa desse desconforto ao movimento real isolado, o que não é verdade. Essa enfermidade também ocorre em ambientes estáticos com presença de movimentos virtuais, como alguns simuladores que usam imersão através do uso da tecnologia de realidade virtual (VR), por exemplo. Há também relatos de náuseas em simuladores de voo, embora esses casos sejam mais raros.

Geralmente os termos que contêm o sufixo “ose” indicam problemas de natureza médica, mas não é o caso da cinetose. Ela é uma resposta normal e natural do ser humano a alguns movimentos, ou simulação deles. O efeito que pode requerer um tratamento médico é justamente a êmese, que em casos extremos, pode levar a pessoa à desidratação, conforme afirmado por Mansfield (2005). Ele ainda acrescenta que a cinetose em si não é diretamente fatal embora seja desconfortável e, a depender do grau, causa um estado de apatia prejudicando o desempenho do tripulante.

Dentre as possíveis hipóteses que explicam a razão de ocorrer a cinetose, a mais aceita entre os pesquisadores é a de que a cinetose é uma resposta orgânica de eliminação de toxinas de um eventual envenenamento, conforme Treisman (1977) citado por Golding (2006). O vômito então, seria a forma de eliminar tal toxina.

Não há, porém, evidências suficientes para determinar que essa detecção de toxinas seja a razão absoluta para explicar completamente da ocorrência da cinetose. Apesar de não se ter bem definido até o presente momento o mecanismo biológico pelo qual ocorre a cinetose, os processos que a provocam são melhor conhecidos. A descrição mais utilizada pelos pesquisadores é a teoria de conflito de sinais sensoriais. Essa teoria descreve que um estímulo gerado por determinado movimento é interpretado distintamente pelos sistemas visual e vestibular, que interpretam os deslocamentos relativos e as acelerações translacionais e rotacionais, respectivamente. A incompatibilidade desses sinais enviados ao cérebro, segundo a teoria de Treisman (1977) citado por Golding (2006), é interpretada como sendo a existência de alguma toxina no organismo. Esta, por sua vez, deve ser eliminada, e a forma de provocar a eliminação é pela êmese (ou vômito). Um exemplo de como essa inconsistência de sinais é gerada é mostrada na figura 6.

Figura 6: Modelo comparativo de como o movimento é percebido. a) motorista dirigindo e b) passageiro lendo jornal



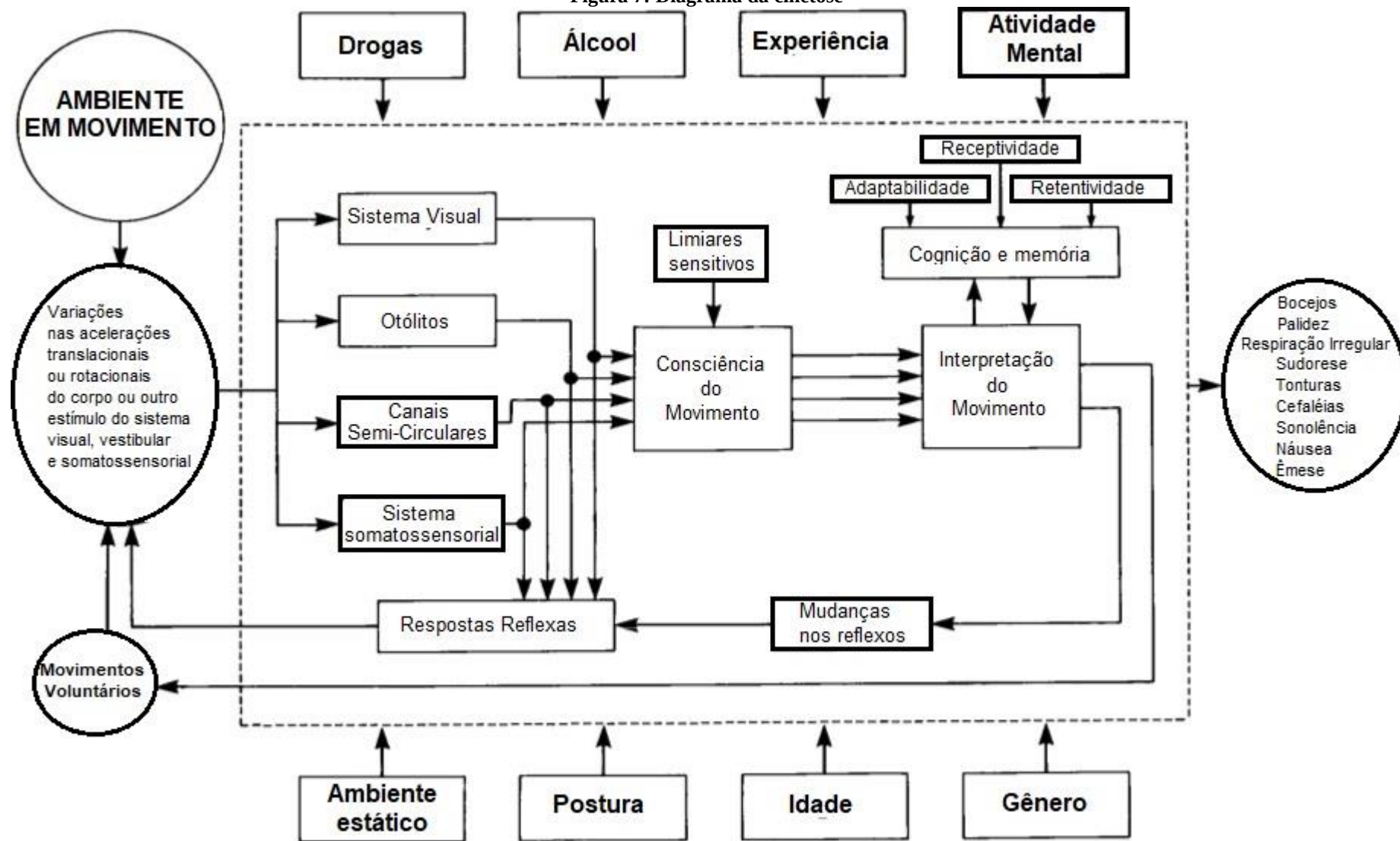
Fonte: Adaptado de Mansfield, 2005

Os sintomas da cinetose são: tontura; sudorese; sonolência; bocejos; secura dos lábios; dores de cabeça; “embrulho” no estômago; náusea e finalmente o vômito, repetindo-se o ciclo com severidade reduzida. Essa ordem e velocidade de ocorrência varia entre indivíduos. Podem

haver situações em que o indivíduo pode não sentir alguns dos sintomas citados acima. Os principais fatores que influenciam a cinetose são: sexo; idade; características individuais; privação de sono; características psicológicas; natureza da atividade realizada; adaptabilidade; aspectos temporais, conforme se observa na figura 7. Nessa figura também se observa um “diagrama” interno da cinetose. Essa dependência de diversos fatores para a ocorrência e, a intensidade da cinetose deixam claro que a avaliação do conforto não é absoluta nem preciso. Não obstante, o limite aceitável de frequência, duração e intensidade de estímulos parece ser também por tal relatividade.

Conforme Hutchison (1990), a cinetose acontece quase sempre em decorrência de aceleração vertical, embora a suscetibilidade ao enjoo possa ser aumentada devido à fadiga. Esta é causada também por um eventual movimento de jogo (*roll*). O que de certa forma colabora para o aumento de cinetose indiretamente.

Figura 7: Diagrama da cinetose



Fonte: Adaptado de Griffin, 1990

2.1.1.1 Modelos Matemáticos para Incidência de Cinetose

O primeiro modelo matemático para descrever a cinetose foi o proposto por O'Hanlon e McCauley (1974), no qual foram selecionadas 300 pessoas do sexo masculino, saudáveis e com idades entre 18 e 34 anos. Elas foram submetidas a oscilações senoidais verticais de até 2 horas de duração. Essas oscilações variaram de 0,083 Hz a 0,5Hz e de 0,03g a 0,40g (em valores de aceleração vertical média para meio ciclo). Após análise dos dados obtidos, eles definiram o *MSI*, ou *Motion Sickness Incidence* (incidência de cinetose), como sendo o percentual de pessoas que vomitariam. Nesse trabalho foi verificado que a frequência mais nauseogênica ocorreu por volta de 0,167 Hz e percebido que, para cada frequência, o *MSI* cresceu monotonicamente com a aceleração.

A relação definida neste modelo foi:

$$MSI = \int_{-\infty}^{\log \bar{a}} \frac{100}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} dx \quad (1)$$

Em que x é a variável de integração, σ e μ são parâmetros de forma, os quais foram determinados empiricamente de maneira a ajustar a curva do *MSI* aos dados obtidos. Nesse caso as variáveis de ajuste μ e σ , são dadas da seguinte forma:

$$\mu = 0.654 + 3.697 \log(f) + 2.320 [\log(f)]^2 \quad (2)$$

$$\sigma = 0.40 \log(\bar{a}) \quad (3)$$

Em que f é a frequência de oscilação incidente sobre o ser humano em Hz e $\bar{a}$ a aceleração vertical média do indivíduo para meio ciclo.

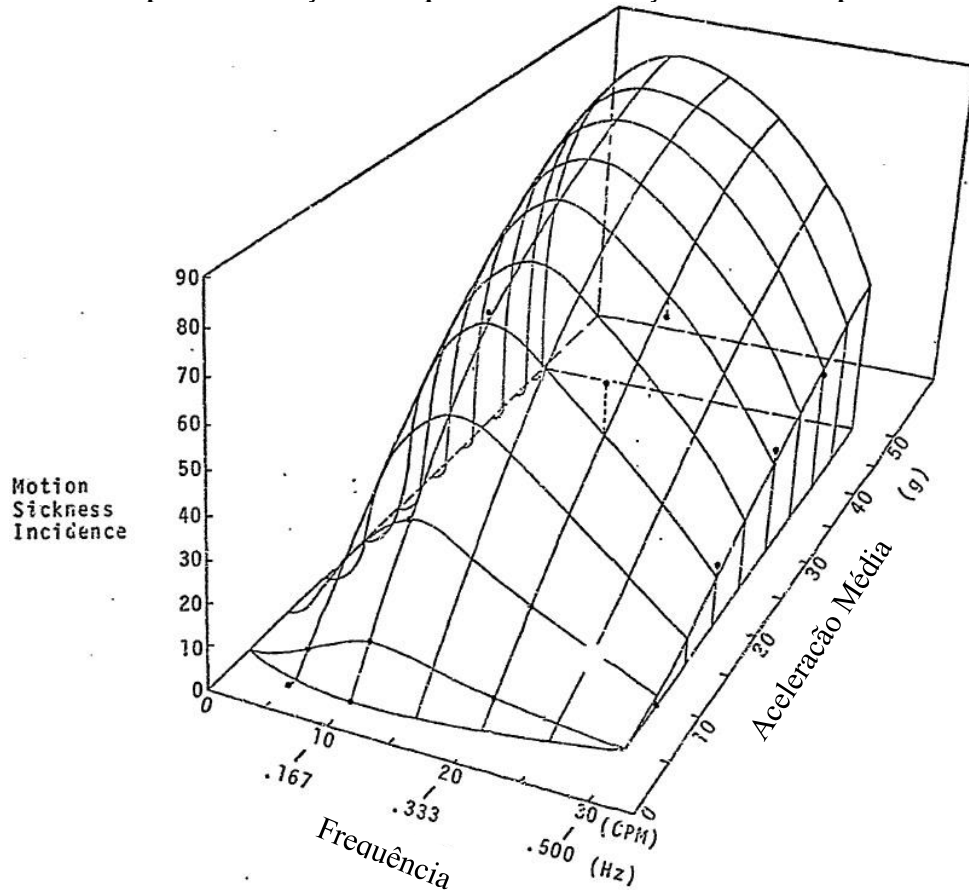
Autores como Scamardella e Piscopo (2013), e Cepowski (2012) se referem à equação (1) na forma indicada na equação (4). Nesse formato, o parâmetro μ passa a ser μ_{msi} indicado em (5).

$$MSI = 100 \left(0.5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log \left(\frac{a}{g} \right) \pm \mu_{msi}}{0.4} \right) \right) \quad (4)$$

$$\mu_{msi} = -0.819 + 2.32 [\log(f)]^2 \quad (5)$$

O'Hanlon e McCauley (1974) afirmaram que esse método é limitado, pois ignora fatores importantes, como o período de exposição e a habituação ao movimento, por exemplo. Apesar dessas limitações a forma da superfície do *MSI* gerada pela equação (1) tem um comportamento similar aos dos dados experimentais obtidos. A superfície é ilustrada na figura 8.

Figura 8: MSI após 2h em função da frequência e da aceleração referente ao primeiro modelo



Fonte: Adaptado de O'Hanlon e McCauley, 1974

Outro modelo, proposto por McCauley, Royal *et al.* (1976), foram selecionadas mais de 500 pessoas jovens de ambos os sexos para submetê-las a acelerações translacionais verticais e rotacionais puramente senoidais, de maneira isolada e combinada, para obter informações sobre a influência de outros movimentos sobre a cinetose que não sejam os puramente translacionais verticais e sobre a habituação ao movimento. Os autores não especificaram a faixa etária das pessoas participantes no experimento.

A partir desse último conjunto de experimentos, percebeu-se que os movimentos rotacionais, quando sozinhos, não contribuem significativamente para o enjoo. Tais

movimentos quando combinados com as acelerações translacionais tendem se tornar significantes, conforme verificado por Wertheim (1998) posteriormente.

Salienta-se que essa análise exige que todas as componentes que contribuem com a componente vertical da aceleração de um navio sejam computadas.

Os autores chegaram à seguinte formulação:

$$MSI = 100 \Phi(z_a)\Phi(z'_t) \quad (6)$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \quad (7)$$

Em que $\Phi(z)$ é a função distribuição cumulativa de z com:

$$z_t = \frac{\log(t) - 1,46}{0,76}, \quad z'_t = \frac{z_t - \rho z_a}{\sqrt{1 - \rho^2}}, \quad z_a = \frac{\log(a) - \mu_a(f)}{0,47 \sqrt{1 - \rho^2}} \quad (8)$$

Em que t é o tempo de exposição, a é a aceleração vertical RMS em unidades g e f a frequência em Hz.

Os parâmetros ρ e μ_a foram estimados conforme equações (9) de maneira que a curva gerada se ajustar da melhor forma aos parâmetros obtidos.

$$\rho = -0.75, \quad \mu_a = 0,87 + 4,36 \log(f) + 2,73 \log^2(f) \quad (9)$$

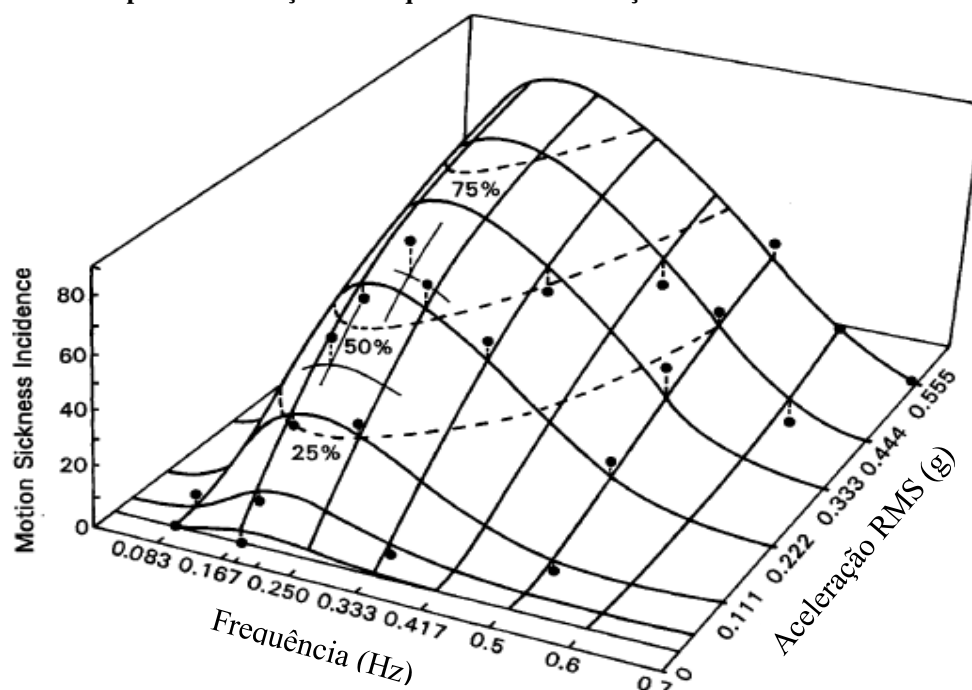
Então z_a e z'_t resultam

$$z_a = 2,128 \log(a) - 9,277 \log(f) - 5,809 \log^2(f) - 1,851 \quad (10)$$

$$z'_t = 1,13z_a + 1,989 \log(t) - 2,904 \quad (11)$$

Confirmou-se, então, através deste estudo que a maior sensibilidade do ser humano na região de frequências que compreende o valor de 0,167 Hz, assim como O'Hanlon e McCauley (1974) haviam verificado, apesar de ambos usarem dados experimentais diferentes. Os modelos citados, até então, apresentam uma curva similar à curva da figura 9. De certa forma, segundo McCauley, Royal *et al.* (1976), caracteriza que o estudo de O'Hanlon e McCauley (1974) que gera a curva da figura 8 é um caso particular deste último.

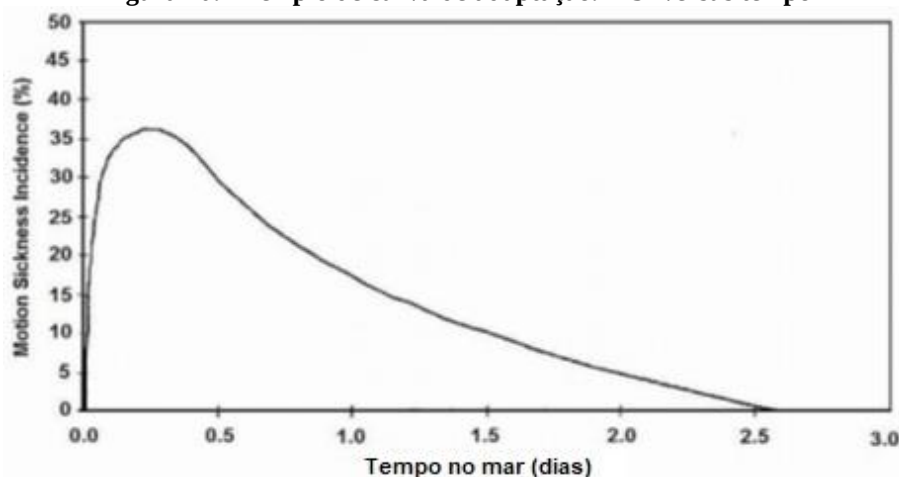
Figura 9: MSI após 2h em função da frequência e da aceleração referente ao método de McCauley



Fonte: Adaptado de McCauley, Royal, *et al.*, 1976

Foi percebido também que, em média, após o quinto dia de exposição a uma mesma oscilação, a incidência de vômito já havia diminuído substancialmente. Esse fato foi também verificado por Stevens e Parsons (2002, *apud* Crossland, 1998), embora este ultimo tenha obtido um valor diferente para o número de dias de adaptação, conforme visto na figura 10. Enfatiza-se que, atualmente, não há equacionamentos para a adaptabilidade às oscilações marítimas.

Figura 10: Exemplo de curva de adaptação. MSI versus tempo



Fonte: Stevens e Parsons, 2002

Esta última forma de avaliar a cinetose, apesar de trazer conhecimentos significativos à predição dela em navios, possui limitações. As idades dos indivíduos que participaram dos testes não foram informadas, porém sabe-se que os experimentos não abrangeram todas as

faixas etárias. As oscilações utilizadas eram puramente senoidais, e não ondas multi-senoidais, e não foi possível verificar a habituação ao movimento em todas as pessoas, já que muitas iam desistindo ao longo dos experimentos. Ainda assim, apesar das limitações, este é um dos métodos mais utilizados, conforme afirmado por Arribas e Piñeiro (2007).

A incidência de cinetose associadas às acelerações horizontais, foram investigadas posteriormente por Golding, Markey e Stott (1995). Os autores constataram que elas são tão nauseogênicas quanto as puramente verticais, a depender da postura e posição em que a pessoa se encontra, da magnitude e frequência dessas acelerações.

A grande maioria das embarcações não alcançam acelerações laterais de magnitudes consideráveis quando comparadas com as verticais mesmo com velocidade não nula. Logo pode-se desprezar os efeitos dessas acelerações laterais. Já nos chamados “*High Speed Vessels*”, que conseguem imprimir acelerações laterais significativos para a cinetose, essa abordagem não pode ser feita.

Um outro modelo também bastante utilizado e que foi base para o método de predição da cinetose proposta por Arribas e Piñeiro (2007), foi proposto por Lawther e Griffin (1987), e utiliza dados experimentais obtidos em campo e em laboratório, tanto por eles como por outros autores. Estes dados englobam vários navios, vários períodos de exposição e população adulta de ambos os sexos, sem faixa etária definida. Esses navios operaram próximo às ilhas britânicas.

Para este último, é definido o VI (*Vomiting Incidence*), similar ao *MSI* proposto por O'Hanlon e McCauley (1974), e uma função direta da aceleração vertical. O VI é uma estimativa linear que se aproxima do *MSI* quando a aceleração é da ordem de 0,1 g. A vantagem desse método em relação ao anterior é a extrema facilidade de aplicação conforme Arribas e Piñeiro (2007). O *dose*, também chamado de *MSDV* (*Motion Sickness Dose Value*) pela norma ISO, são equivalentes e são utilizados para calcular o VI. Ele é definido na equação (12).

$$dose = \left(\int_0^T a_w^n(t) dt \right)^{\frac{1}{n}} \quad (12)$$

$$a_w^n = \int_0^\infty \ddot{z}^n(\omega_e) G^n(\omega_e) d\omega \quad (13)$$

$$G(\omega_e) = \begin{cases} \frac{\omega_e}{0.7} & \text{se } \omega_e \leq 0.7 \text{ rad/s} \\ 1 & \text{se } 0.7 < \omega_e \leq 1.7 \text{ rad/s} \\ \left(\frac{1.7}{\omega_e}\right)^{2.85} & \text{se } \omega_e > 1.7 \text{ rad/s} \end{cases} \quad (14)$$

Em que a_w^n representa a aceleração vertical “filtrada” elevada a um parâmetro n , e $\ddot{z}^n$ é a aceleração em função da frequência de encontro ω_e . T é o tempo total de exposição. No referido estudo, foi observado que para $n = 2$ ou 4 , há uma boa correlação da curva gerada com os dados experimentais de avaliação. O mais utilizado, inclusive pelas normas, é $n = 2$.

O $G(\omega_e)$ é o filtro que leva em consideração as frequências mais nauseogênicas para o ser humano. Ele foi introduzido por Lawther e Griffin (1987) e seus valores atuais, representados na equação (14), dado na norma BS 6841 (1987).

A partir das equações (12) a (14), Lawther e Griffin (1987), define o *VI*, *vomiting incidence*, na forma representada na equação (15). Esse método é válido apenas para períodos significativos de onda maiores que 2 segundos.

O valor de Km equacionado em (16) leva em consideração uma população mista de pessoas adultas, ambos os sexos, não adaptadas àquela oscilação.

$$VI = Km * dose \quad (15)$$

$$Km = \frac{1}{3} \quad (16)$$

Apesar desse método propor um meio mais simples de avaliar a cinetose e ser o utilizado em normas, não são considerados o fenômeno do limite de saturação nem a adaptação ao movimento. Em outras palavras, acima desse limite de saturação não há variação na cinetose em um grande percentual de pessoas, o que não é previsto nesse modelo linear, conforme afirmado por Arribas e Piñeiro, (2007).

Um outro método, que não foi incorporado às normas, propõe a estimativa da incidência de cinetose usando conhecimentos explícitos do sistema vestibular, proposto por Bos e Bles (1998). Este leva em consideração outros fatores além do vômito, conforme escalas de desconforto, mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Modelo de escala de desconforto

SINTOMAS	score
Sem problemas	0
Desconforto (Sem Sintomas Típicos)	1
Vertigem, calor, cefaléia, Sudorese Embrulho no Estômago	
Muito leve	2
Leve	3
Bastante	4
Severo	5
Náusea	
Leve	6
Bastante	7
Severo	8
Quase Vomitando	9
Êmese	10

Fonte Adaptado de Bos, Mackinnon e Patterson, 2005

2.1.1.2 As normas

As últimas revisões e edições nas normas ISO 2631-1 e BS 6841, quanto à cinetose, seguem o modelo proposto por Lawther e Griffin (1987). Nesse modelo, é feita, então, a estimativa de pessoas que vomitariam através de um fator Km e utilizando $n = 2$, conforme descrito nas equações (12) a (16) da seção 2.1.1.1, sobre os modelos.

Substituindo $n = 2$ nestas equações:

$$MSDV_z = \left(\int_0^T a_w^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$a_w^2 = \int_0^\infty \ddot{z}^2(\omega_e) G^2(\omega_e) d\omega \quad (18)$$

Tanto a ISO como a BS permitem que o $MSDV_z$ seja calculado da maneira equacionada em (19), desde que a exposição seja contínua. Essa aproximação é utilizada inclusive por diversos autores, como Scamardella e Piscopo (2013) e Arribas e Piñeiro (2007), por exemplo. Para usar esse método as normas indicam que não devem ser usados períodos de exposição inferiores a 240 s.

$$MSDV_z = a_w \sqrt{T} \quad (19)$$

A norma ISO, apesar de determinar um método para o cálculo para a cinetose, não estipula limites de valores admissíveis de frequência e aceleração. Quando se trata de limites, é comumente usado um valor aceitável de 20% de VI da tripulação em até 4 horas de exposição à determinada onda irregular, conforme Stevens e Parsons (2002, apud NATO STANAG 4154, 1986). Os autores acrescentam que, quando se trata de navios de passageiros, esses limites podem ser menores. Manuais de algumas embarcações específicas, como por exemplo a American Bureau of Shipping, (2014), limita o $MSDV_z$ em $30 \text{ m/s}^{1,5}$ para algumas embarcações pequenas.

Conforme a NORDFORSK (1987), citado por Stevens e Parsons (2002), existem limites para a magnitude da aceleração. No caso em questão, a magnitude de aceleração vertical que não deve ser ultrapassada é da ordem de 0,1g. Esse limite é estipulado para trabalhos essencialmente intelectuais. Em trabalhos manuais, leves e pesados, os limites são 0,2g e 0,15g respectivamente, conforme tabela 2.

Tabela 2: Acelerações (RMS) e rolamento máximos permitidos (NORDFORSK 1987)

	Aceleração vertical (RMS)	Aceleração lateral (RMS)	Rolamento (Jogo) (RMS)
Trabalho manual leve	0.20g	0.10g	6.0°
Trabalho manual pesado	0.15g	0.07g	4.0°
Trabalho Intelectual	0.10g	0.05g	3.0°
Passageiros em trânsito	0.05g	0.04g	2.5°
Navio de cruzeiro	0.02g	0.03g	2.0°

Fonte: Adaptado de Stevens e Parsons (2002)

2.2 O DRILLSHIP

Figura 11: O Drillship



Fonte: adaptado de <http://worldmaritimeneews.com/archives/tag/drillship/page/4/>

O navio de perfuração, ou comumente chamado, *drillship*, é uma embarcação especial, equipada com aparelhagem para perfurações em diversas profundidades. Normalmente, esse tipo de navio opera em águas profundas, de 600 a 3000 metros de profundidade. O diferencial desse navio em relação a outros é o fato de possuírem uma abertura em seu convés (chamado *moonpool*) que permite acesso abrigado ao mar.

A existência desse acesso afeta a distribuição de cargas quando comparado a um casco com mesmo formato e sem o acesso, e também acarreta em diferentes comportamentos hidrodinâmicos. Um exemplo desses comportamentos é quando a água interna ao *moonpool* ressona a ponto de transbordar para o convés.

2.2.1 Aceleração

Conforme descrito na seção 2.1.1, sobre a cinetose, a aceleração sentida e o movimento do navio são responsáveis por estimular dois sistemas: o vestibular e o visual, respectivamente. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de se obter as equações de movimento, e em especial a aceleração, para ser usada na equação (18).

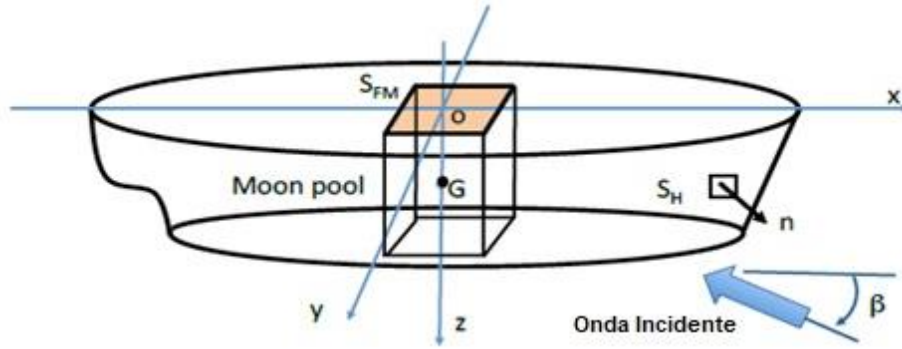
O movimento “nauseante” do navio é amplificado pela excitação da onda, ou seja, pela sua interação com as águas internas e externas ao *moonpool*. O modelo matemático utilizado para o cálculo das respostas do navio à excitação de ondas utiliza o método dos painéis, que subdivide a superfície molhada do casco em porções para as quais a pressão é calculada através de um modelo baseado na teoria potencial. A pressão e a função potencial de velocidade estão relacionadas pela equação de Bernoulli linearizada $(p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t})$. A equação que rege o escoamento é a equação de Laplace (20), em que ϕ é uma função potencial de velocidade.

$$\nabla^2 \phi_j = 0 \quad (20)$$

A equação acima é válida num escoamento invíscido, incompressível e irrotacional. ∇ é o operador diferencial gradiente. Essas hipóteses permitem que o problema seja tratado como potencial. Esse método não garante boas previsões na região não-linear (quando há geração de vórtices no escoamento).

O sistema de coordenadas adotado segue o mesmo padrão que o adotado em Michima e Kawabe (2014) e em Michima (2017)

Figura 12: Sistema de coordenadas



Fonte: Michima e Kawabe, 2014

O modelo utilizado neste trabalho foi apresentado em Michima (2017) e é governado pelas equações (21) a (28).

$$\phi_j(x, y, z, t) = i\omega X_j \varphi_j(x, y, z) \quad j \in \mathbb{N} \mid j \in [1, 6] \quad (21)$$

$$\varphi_j = \int_{S_H + S_{MP}} \left(n_j G - \varphi_j \frac{\partial G}{\partial n} \right) dS + \int_{S_{MF}} \left[(K - i\mu') G - \frac{\partial G}{\partial z} \right] \varphi_j dS \quad (22)$$

$$G(P, Q) = \frac{K}{2\pi} i\pi e^{-K(z_P + z_Q)} \sqrt{\frac{2}{\pi K R}} \operatorname{Re} \left[e^{-iKR + \frac{\pi}{4}i} \right] \quad (23)$$

Em que:

- A equação (21) é a relação entre potencial de velocidade e a equação de movimento. O termo $i\omega X_j$ é a amplitude da velocidade e φ_j o potencial de velocidade por unidade de movimento.

- A equação (22) é a expressão para obtenção do referido potencial de velocidade por unidade de movimento baseado na segunda identidade de Green, a ser resolvida considerando as condições de contorno. Na referida equação, S_H , S_{MP} , S_{MF} se referem respectivamente à superfície externa do casco, superfície interna do moonpool e a superfície livre do moonpool. n o vetor normal da superfície no ponto avaliado apontando para dentro do domínio fluido. K é o número de onda em águas profundas e μ' o coeficiente de amortecimento de Rayleigh, obtido experimentalmente. O valor utilizado neste trabalho é 0,09, conforme Michima (2017).

- A equação (23) é a expressão para a função de Green. P, Q representam um ponto no domínio fluido e na superfície do casco, respectivamente.

As condições de contorno são regidas pelas equações de (24) a (28).

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial n} = n_i \dot{X}_i ; \quad i \in \mathbb{N} \mid 1 \leq i \leq 6, \text{ em } S_H \text{ e } S_{MP} \quad (24)$$

$$\left(-\omega^2 + g \frac{\partial}{\partial z} \right) \varphi_j = 0, \text{ em } S_F \quad (25)$$

$$\left(-\omega^2 + g \frac{\partial}{\partial z} \right) \varphi_j + i\mu \varphi_j = 0, \text{ em } S_{MF} \quad (26)$$

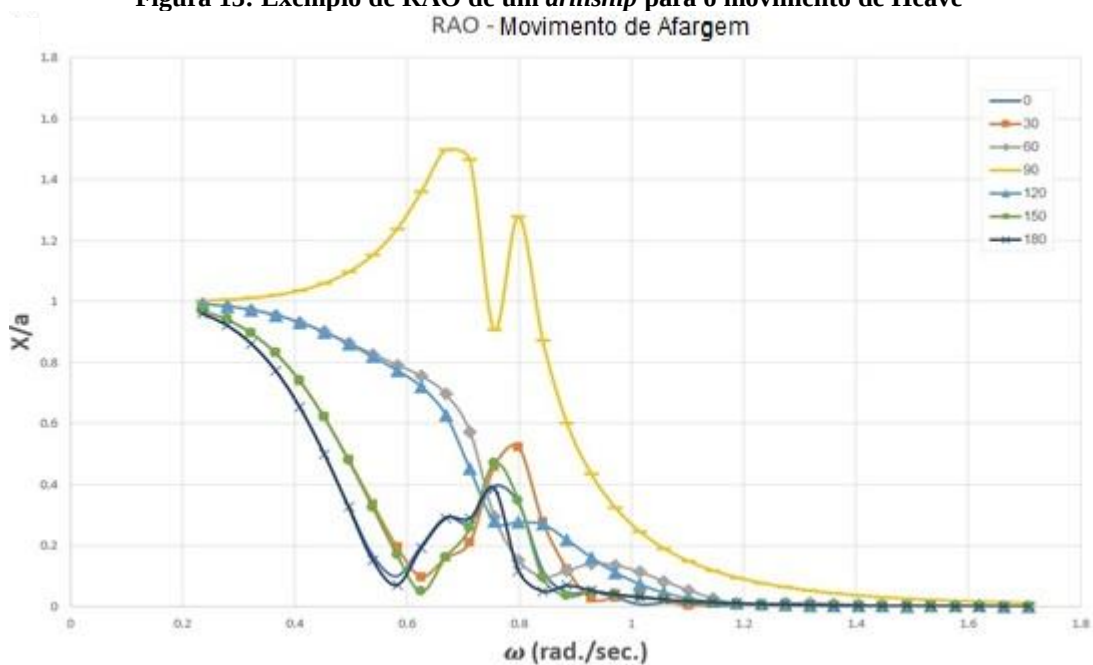
$$\frac{\partial \varphi_j}{\partial n} = 0, \text{ em } S_B \quad (27)$$

$$\varphi_j \rightarrow 0, \text{ em } S_\infty \quad (28)$$

Em que:

- A equação (24) é a condição de não separação de fluido das superfícies em contato com a água do navio;
- A equação (25) descreve que as partículas fluidas da superfície livre e externa ao navio coincidam com a curva da onda na interface ar-água;
- A equação (26) indica a condição da água na superfície livre do moonpool;
- A equação (27) é a não separação da água do leito do oceano;
- A equação (28) indica que as perturbações não se propagam indefinidamente.

Figura 13: Exemplo de RAO de um *drillship* para o movimento de Heave
RAO - Movimento de Afargem



Fonte: Adaptado de Michima, 2017

A partir da equação a equação (22) é obtida a equação de movimento. Dessa última, para ondas regulares, uma função de transferência para cada modo de resposta do navio, o *RAO* (*Response Amplitude Operator*) é obtido, conforme ilustrado na figura 13. Esta é função da frequência de encontro (que no caso avaliado é igual a frequência da onda incidente) e do ângulo de incidência da onda, β mostrado na figura 12.

Dessa forma, a análise para estados de mar irregulares, nos quais o espectro de onda incidente é descrito pela altura de onda e período significativos, pode ser feita através da associação da resposta do navio em ondas regulares com o espectro de densidade de energia da onda.

No caso específico da cinetose, o objetivo é calcular, a_w^2 da equação (18). Arribas e Piñeiro (2007), afirmam que, uma vez estabelecido o RAO, é aplicada a teoria de função de transferência para calcular o a_w^2 . Essa relação está equacionada em (29).

$$a_w^2 = \int_0^\infty H_z(x, y, z, \omega_e, \beta)^2 G(\omega_e)^2 S_{wave}(\omega, H_s, T_s) d\omega \quad (29)$$

Em que H_z é o RAO de aceleração vertical, G o filtro da norma, conforme equação (14) S_{wave} o espectro da onda. Na presente análise será considerado velocidade de avanço nula, ou seja, a frequência de encontro é igual à frequência da onda marítima.

3 METODOLOGIA

A partir da observação dos métodos de avaliação da cinetose utilizados por diversos autores, apresentados na seção 2.1.1.1, sobre os Modelos, verificou-se que o método presente nas normas, apesar de usar um modelo linear para a obtenção do *Vomiting Incidence*, é conservador e muito efetivo numa fase de projeto na qual as geometrias externas e do *moonpool* não estão completamente definidas. Esse método também é muito usado quando se quer avaliar a influência de cada geometria sobre o VI. Ele não invalida os outros métodos, embora seja o mais usado pelo fato de ser conservador, estabelecido em norma e de ser simples para implementação em programas de computador. No presente trabalho, esse foi o modelo escolhido e aplicado. Os limites adotados são os estabelecidos em Stevens e Parsons (2002, apud NATO STANAG 4154, 1986), conforme descrito na seção 2.1.1.2, sobre as normas.

Escolhido o método a ser utilizado, adaptou-se o módulo de cálculos hidrodinâmicos, que efetua a simulação numérica do comportamento do navio em vários estados de mar e elaborado em Fortran (KAWABE, 2017), para que este calcule as acelerações ponderadas (a_w^2 na equação (29) na seção 2.2.1, sobre a aceleração) em pontos determinados. Foi gerado também um algoritmo que calcula o *Motion Sickness Dose Value* ($MSDV_z$ na equação (19)) e o compara com o valor máximo permitido por norma, gerando assim, um valor de altura máxima operável. Ambas as codificações podem ser utilizadas para qualquer tipo de casco, desde que este esteja definido num formato específico de arquivo de entrada (*input file*). Todos os códigos estão contidos no “APÊNDICE A”. Essa rotina é subdividida em duas partes.

A primeira parte é feita dentro dos cálculos hidrodinâmicos e geração de espectros de aceleração ponderada na forma tabelada. Nessa etapa é inserido o filtro estabelecido em norma, $G(\omega_e)$ e as gerações dos arquivos referentes à anotação desses dados calculados.

A segunda parte, seleciona pontos na linha d’água nos quais serão calculadas as respostas de aceleração ponderada, chama o executável de cálculos hidrodinâmicos e executa o pós-processamento dos dados, em que se geram os gráficos de máxima altura significativa permitida para o critério, e que estão contidos no “APÊNDICE B” e “APÊNDICE C”.

A determinação de pontos dentro do casco e sobre a linha d’água é feita pela seleção de pontos aproximadamente na região onde ficaria o passadiço, que no caso de *drillships* fica numa região próxima à proa da embarcação, de maneira geral. Essa área de seleção de pontos foi

selecionada conforme recomendada na norma DNVGL-RU-SHIP (DET NORSKE VERITAS, 2012), que justifica a utilização do passadiço por ele fazer parte da central de comando. A figura 14 exemplifica uma distribuição de prováveis pontos pertencentes ao passadiço.

A escolha de pontos é uma função do comprimento e da largura do casco inserido. O usuário define o número de divisões horizontais, verticais, o comprimento e a posição média do passadiço em função de um percentual do comprimento. O programa, então, lê dos dados da malha e determina as divisões na largura conforme valor inserido pelo usuário e confere se os pontos resultantes estão dentro do casco e fora do *moonpool*. Dessa forma, os pontos que não satisfizerem essas condições serão descartados.

Ressalta-se que esses pontos, nos cascos avaliados neste trabalho, são uma estimativa da região de onde se encontra passadiço que, em *drillships*, se localiza comumente numa região próxima à proa, conforme figuras 14 e 12. Se o número total de pontos for superior a 7, há anomalias nos arquivos de saída da simulação. Essa limitação não impede a realização da análise. O usuário, também deverá avaliar o local do passadiço da embarcação a ser analisada juntamente com a malha de entrada do programa.



A resposta que gerar o menor valor de amplitude de resposta será considerada como o valor máximo de operabilidade para aquela onda incidente. Dessa forma, é possível que se obtenha, para ondas com diferentes ângulos de incidência, pontos críticos diferentes.

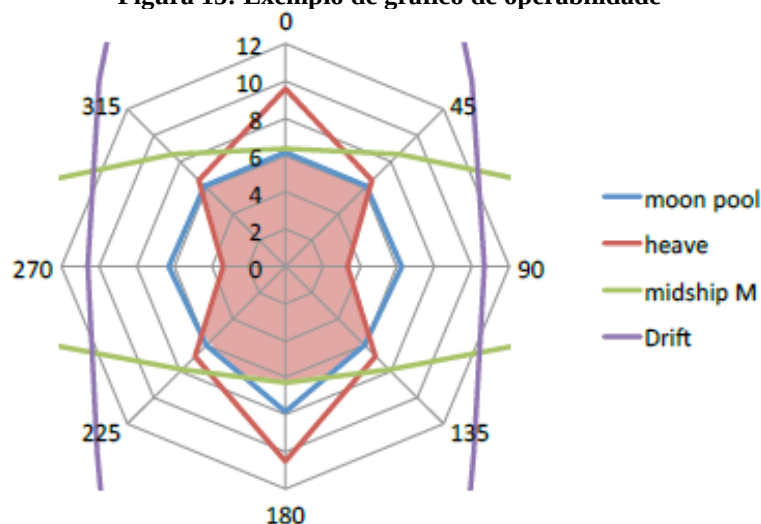
Após determinação dos valores máximos de altura significativa que ainda garantem a operabilidade segundo o critério da cinetose, eles serão comparados com as respostas dos seguintes critérios:

- Transbordo de água pela abertura do casco (intitulado como *overflow*);
- Curso máximo do pistão do compensador (intitulado como *stroke*);
- Compensação de forças de deriva pelo DPS (sistema de posicionamento dinâmico);
- Momento fletor à meia-nau (intitulado como *moment*).

Esses critérios listados são calculados por um algoritmo, previamente elaborado por Cavalcante (2015), Fonseca (2016) e Michima (2017), que faz a comparação da resposta do navio com os limites estabelecidos pelo usuário, sempre que possível baseados em normas ou nas limitações dos equipamentos. Dessa forma, se estabelecem as máximas alturas de onda admissíveis para cada avaliação.

A operabilidade global da embarcação é a área resultante da interseção entre as regiões limitadas pelas alturas máximas admissíveis de cada critério. Na abordagem utilizada para avaliação do desempenho desses *moonpools*, julga-se melhor aquele que fornece ao navio maior área dessa região resultante, conforme exemplificado na figura 15.

Figura 15: Exemplo de gráfico de operabilidade



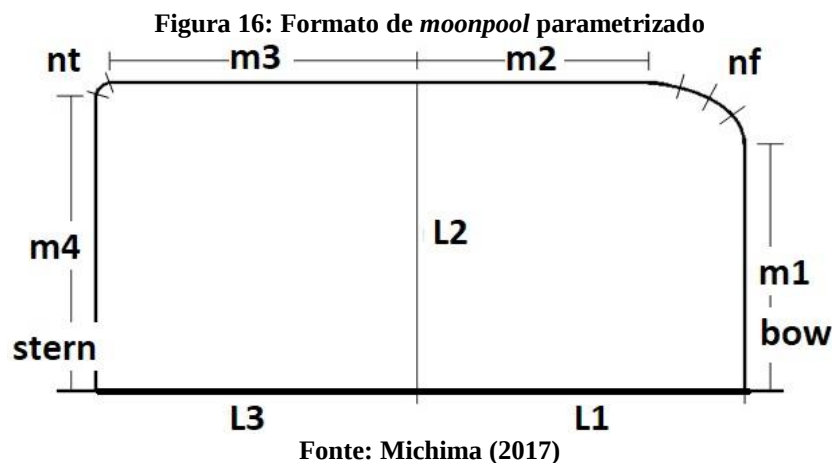
Fonte: Michima e Kawabe, 2014

Os espectros de onda selecionados para a análise foram: JONSWAP, IACS e Bretchneider, todos eles em dois fatores de crista (intitulados neste trabalho como *short crested* e *long crested*), nos seguintes períodos significativos: 4 s; 8 s; 10 s e 12 s, para avaliar a influência da variação da altura de onda em determinado ângulo de incidência em função de cada período significativo de onda. Espera-se que com o aumento desse período significativo as alturas máximas de onda sejam menores, até certo ponto a partir do qual essa altura admissível crescerá. Isso ocorre pelo fato da frequência mais naseante se encontrar entre os períodos 4 e 8 s.

Foram selecionados três tipos de *moonpools* para avaliar as alturas máximas significativas de onda para o critério de cinetose, de modo a compará-los. Eles são: um retangular e um oval e um terceiro de formato similar à figura 16, o qual será denominado de

“irregular”. Todos os *moonpools* têm os mesmos comprimentos longitudinais e transversais fixos, para análise da influência da variação de formato na cinetose. Esses parâmetros são:

- L1: comprimento longitudinal da porção anterior do *moonpool* (em direção à proa);
- L2: comprimento transversal do *moonpool*;
- L3: comprimento longitudinal da porção posterior do *moonpool* (em direção à popa);
- m1: coordenada transversal da quina poligonal anterior;
- m2: coordenada longitudinal da quina poligonal anterior;
- m3: coordenada longitudinal da quina poligonal posterior;
- m4: coordenada transversal da quina poligonal posterior;
- nf: número de vértices da quina poligonal anterior;
- nt: número de vértices da quina poligonal posterior;



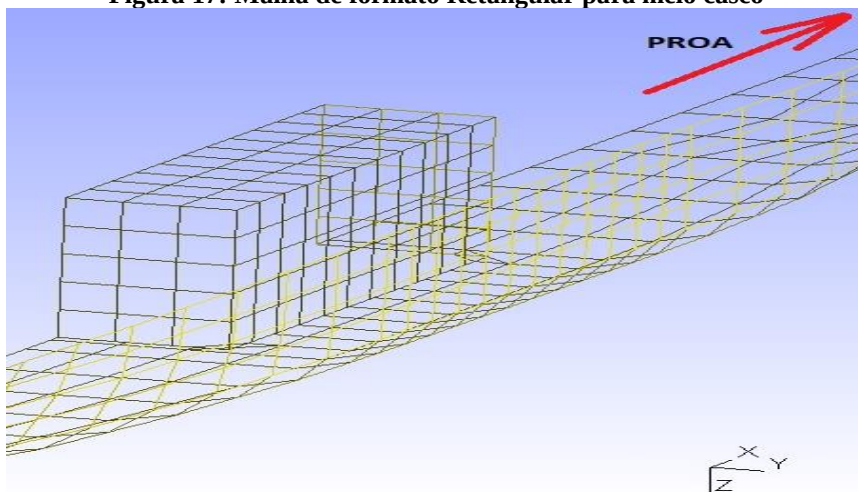
O padrão da figura 16 é a representação de metade do *moonpool*, pois ele possui simetria sobre o eixo longitudinal, conforme definido em Michima (2017, *apud* Cavalcante 2015). Ainda conforme a autora, os parâmetros fixos (L1, L2 e L3) têm a função de determinar os comprimentos máximo e a posição do centroide da área do *moonpool* em relação ao navio. Os parâmetros não fixados (m1, m2, m3, m4, nf e nt) têm a função de determinar a forma do *moonpool*. Mais especificamente, m1, m2, m3 e m4 tornam o formato mais quadrangular à medida em que crescem e nt e nf tornam as quinas num chanfro à medida em que decrescem.

Os parâmetros não fixados do formato “irregular” foram determinados por uma otimização, na qual o formato do *moonpool* é escolhido para que a região de operabilidade estabelecida pelos critérios já mencionados, exceto a cinetose, seja a maior possível. Essa ferramenta é introduzida e desenvolvida em Michima (2017).

Os formatos de cada *moonpool* possuem L1, L2 e L3 iguais a 13, 7 e 13 metros, respectivamente. Os demais parâmetros são:

- Retangular:
 - $m1 = m4 = 7 \text{ m}$
 - $m2 = m3 = 13 \text{ m}$
 - $nt = nf = 0$

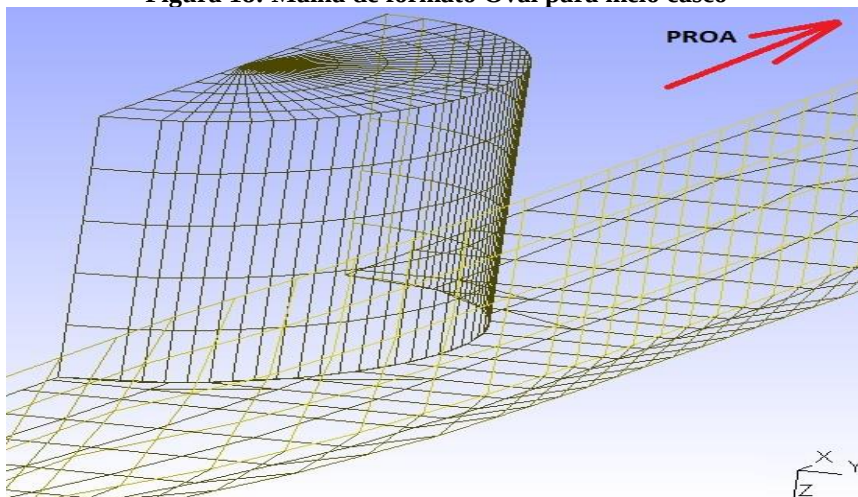
Figura 17: Malha de formato Retangular para meio casco



Fonte: O Autor com auxílio de rotina do programa elaborado em Michima (2017)

- Oval:
 - $m1 = m4 = 0$
 - $m2 = m3 = 0$
 - $nt = nf = 20$

Figura 18: Malha de formato Oval para meio casco

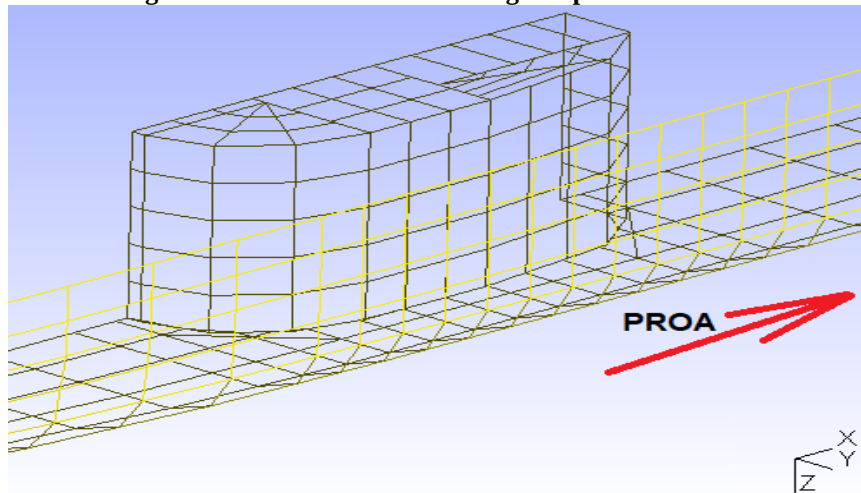


Fonte: O Autor com auxílio de rotina do programa elaborado em Michima (2017)

- Irregular

- $m1 \approx 3,8887$ m
- $m2 \approx 1,4444$ m
- $m3 \approx 5,7778$ m
- $m4 \approx 0,7778$ m
- $nt = 2$
- $nf = 3$

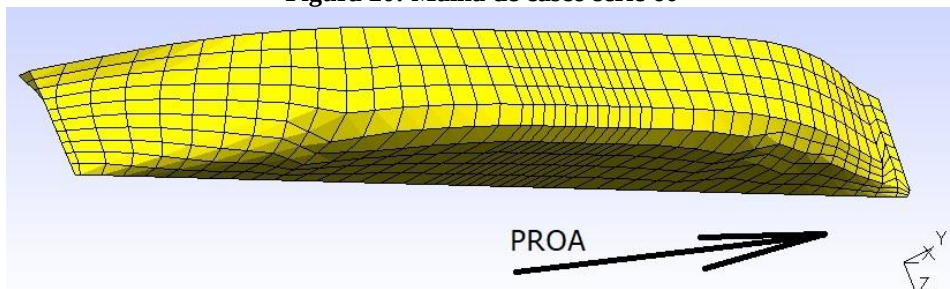
Figura 19: Malha de formato Irregular para meio casco



Fonte: O Autor com auxílio de rotina do programa elaborado em Michima (2017)

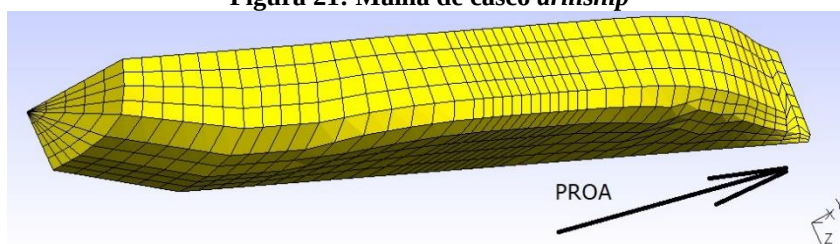
Foi selecionado, também, um casco série 60 com *moonpool* retangular de maneira a avaliar qual a variação no comportamento da máxima altura de onda para o *motion sickness* quando há mudanças na geometria do casco. A figura 20 exemplifica um modelo de casco série 60 e a figura 21 um modelo de casco *drillship*. Este último é uma variação do casco série 60.

Figura 20: Malha de casco série 60



Fonte: O Autor com auxílio de rotina do programa elaborado em Michima (2017)

Figura 21: Malha de casco *drillship*



Fonte: O Autor com auxílio de rotina do programa elaborado em Michima (2017)

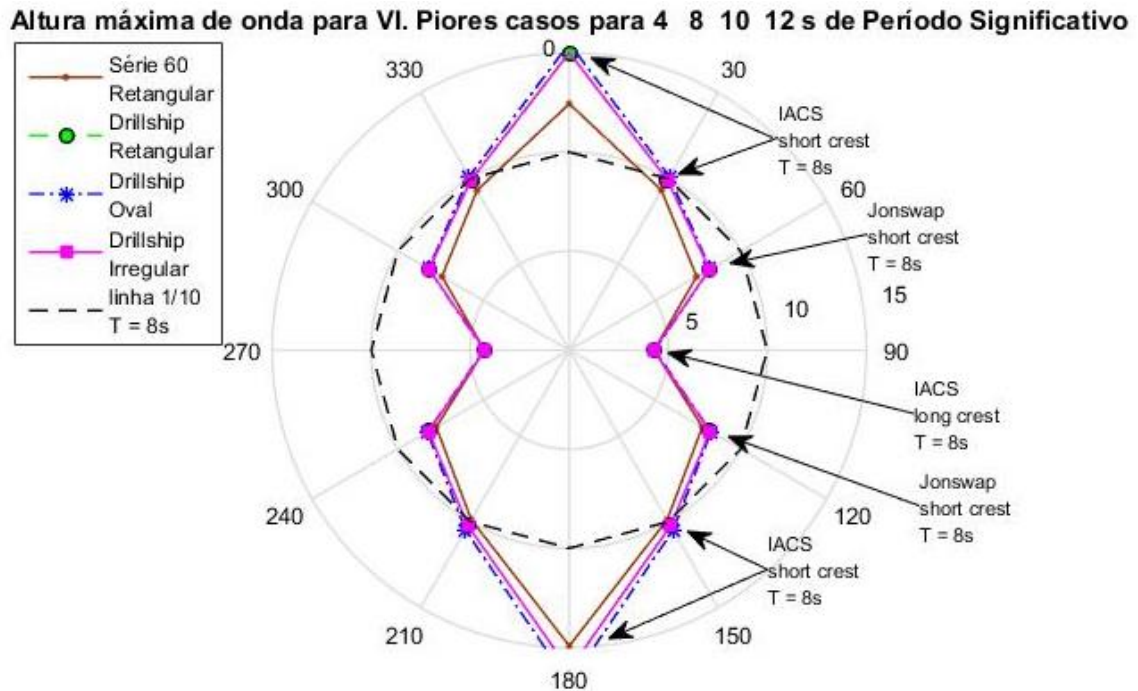
O *moonpool* do casco série 60 tem parâmetros iguais ao formato retangular do casco *drillship*. Ambos os cascos são avaliados pelo mesmo método e mesmos critérios de operabilidade já mencionados.

Também foi avaliado, em função do período de onda, o comportamento da altura máxima de onda para as geometrias propostas em cada ângulo de incidência no espectro mais limitante. Além disso, foi feita a comparação dessas curvas com a linha de razão de inclinação da onda, $H_s/\lambda_s = 1/10$. Já que, como regra geral a onda quebra aproximadamente com essa razão de inclinação e a parcela da curva de altura máxima acima dessa linha é uma condição improvável de ocorrer, conforme Michima e Kawabe (2014).

4 RESULTADOS E ANÁLISE

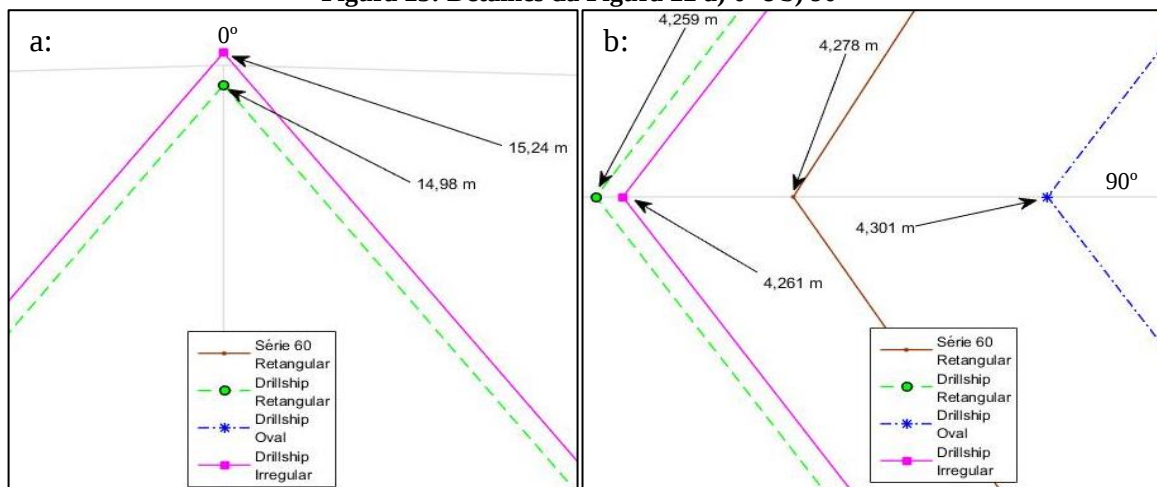
Entre as situações analisadas descritas na seção 3, sobre a metodologia, as que demonstraram ser mais críticas estão representadas na figura 22.

Figura 22: Comparativo entre alturas máxima de onda para cada *moonpool* e casco sem a onda quebrar entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s.



Fonte: O Autor

Figura 23: Detalhes da Figura 22 a) 0° e b) 90°



Fonte: O Autor

Ela representa a altura máxima de onda que gera níveis de aceleração que gera um VI de 20% das pessoas num período de 4 horas de exposição. Neste gráfico também são indicados quais espectros e períodos mais críticos para cada ângulo de incidência de onda, conforme

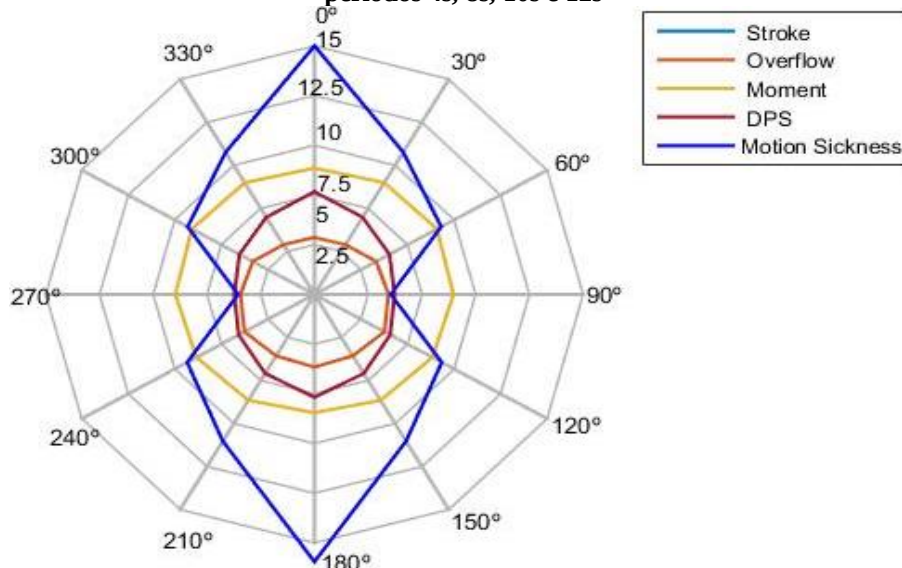
descrito na seção 3, sobre a metodologia. Nota-se, ainda, que as curvas geradas possuem forma semelhante.

A partir delas percebe-se que as variações da geometria do *moonpool* afetam muito pouco a operabilidade enquanto que variações de casco influenciam consideravelmente a operabilidade. O casco *drillship* com formato de *moonpool* oval teve área ligeiramente maior para a cinetose do que os outros formatos. O casco série 60 com *moonpool* retangular foi o que apresentou a menor área de operabilidade, embora a altura máxima admissível para ondas de través tenha sido ligeiramente maior que dos formatos de *moonpool* retangular e irregular com casco *drillship*, conforme verificado no detalhe b) da figura 23. Em todos os casos, o ponto que gerou as menores áreas de operabilidade foi o ponto indicado pelo número 1 na figura 14.

As ondas de través geram as menores alturas máximas para que a cinetose não ocorra. Porém, essa situação é improvável de ocorrer quando o navio está em procedimentos de perfuração, já que esses navios, em geral, possuem sistemas para correção de posicionamento de tal forma que o navio sempre fique alinhado às ondas, ou seja, com ângulo de incidência β próximo a zero.

Na figura 22, a linha em tracejado preto, indica a máxima altura de uma onda antes de ela quebrar no período de 8 segundos. Em outras palavras, dentro da teoria linear as alturas de onda maiores que esse limite não ocorrerão.

Figura 24: Altura máxima de onda para os outros critérios e a cinetose, formato irregular, entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s

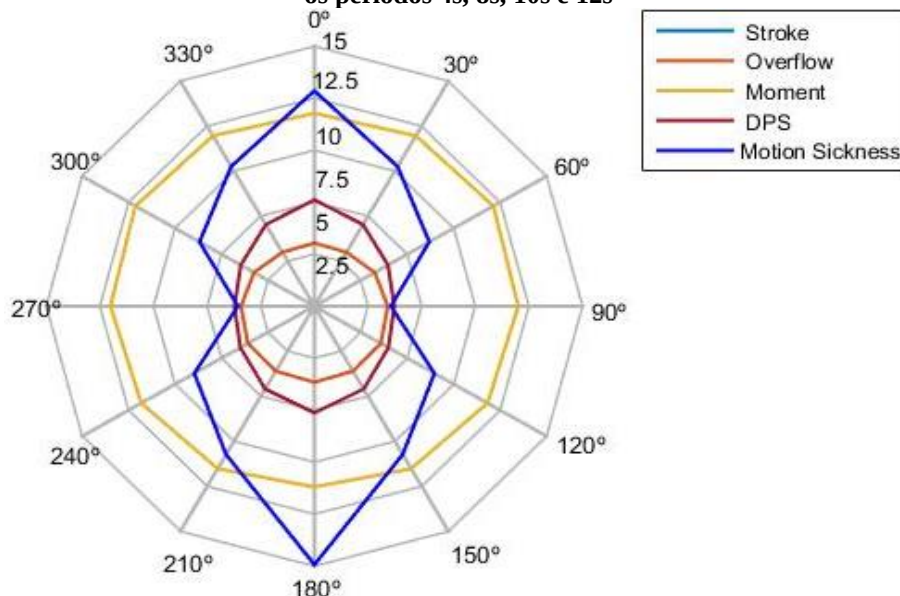


Fonte: O Autor com auxílio de programa elaborado por Michima, P.

As figuras 24 e 25 foram selecionadas como exemplos para comparação da cinetose com outros critérios. Os outros gráficos de operabilidade da cinetose para as outras configurações de espectro de onda, período significativo, formato de *moonpool* e casco estão no “APÊNDICE B”.

Quando comparados nas configurações indicadas na seção 3, sobre a metodologia, a cinetose possui área de operabilidade de ordem de grandeza semelhante. Ainda conforme essas figuras, o *overflow* e a compensação de forças de deriva (*DPS*) são mais críticas que a cinetose. O momento fletor vertical à meia-nau em ambos os casos (figuras 25 e 25) possui interseções com a cinetose, de maneira que ora esta é mais crítica, ora o momento fletor. O limite do compensador de *heave* é da ordem de 100 metros o que o deixa fora da escala dos gráficos e, portanto, é o menos crítico de todos. Dessa forma é evidenciado que a cinetose não é a situação mais limitante de todas, ao menos para os cascos avaliados e os limites pré-determinado pelo usuário dos critérios em questão.

Figura 25: Altura máxima de onda para os outros critérios e a cinetose, formato retangular Série 60, entre os períodos 4s, 8s, 10s e 12s



Fonte: O Autor com auxílio de programa elaborado por Michima, P.

Dessa forma, a operabilidade global é determinada apenas pelo transbordo de água para o convés. Essa constatação não é absoluta, já que essas alturas podem ser alteradas por modificações nas especificações dos equipamentos do navio.

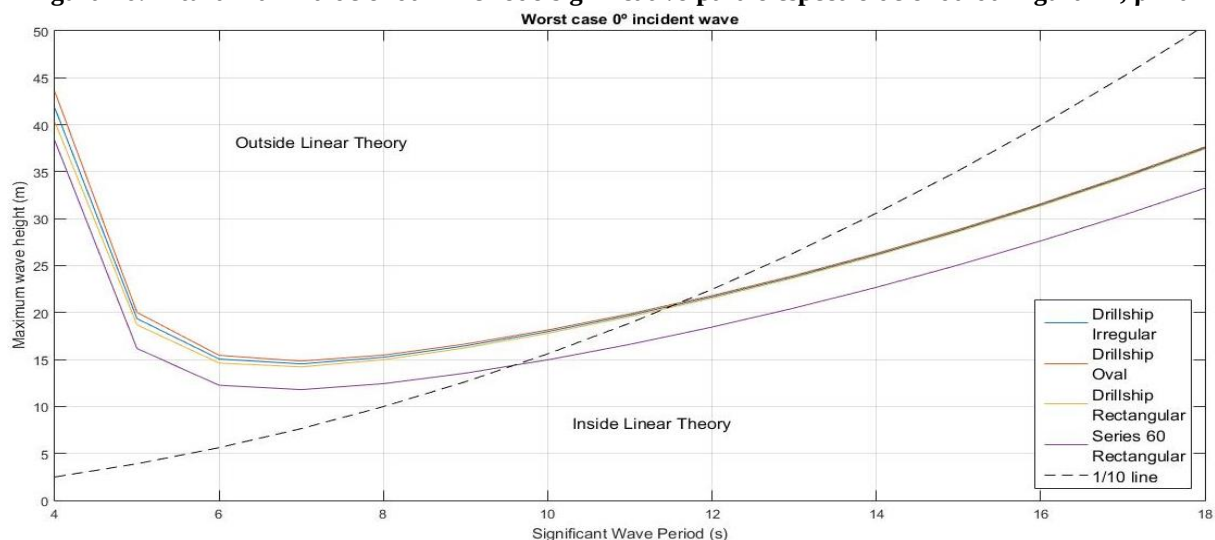
As figuras 26 a 33 ilustram o comportamento temporal da máxima altura de onda segura para os espectros indicados na figura 22. As referidas curvas possuem comportamento bem similar. Todas elas apresentam o valor mínimo entre 6 e 8 s que nem é o período crítico para o

ser humano, próximo de 6 s, nem para o navio, próximo de 10s. Em ondas de través há pouca diferença entre as configurações de *moonpool* e casco analisadas.

Frisa-se que nos pontos avaliados, inclusive no mais crítico, a aceleração máxima em valores RMS foi da ordem de 0,05 g. Dessa forma, fica abaixo do limite de magnitude máxima mencionada na seção 2.1.1.2, sobre as normas, que gira em torno de 0,1 g.

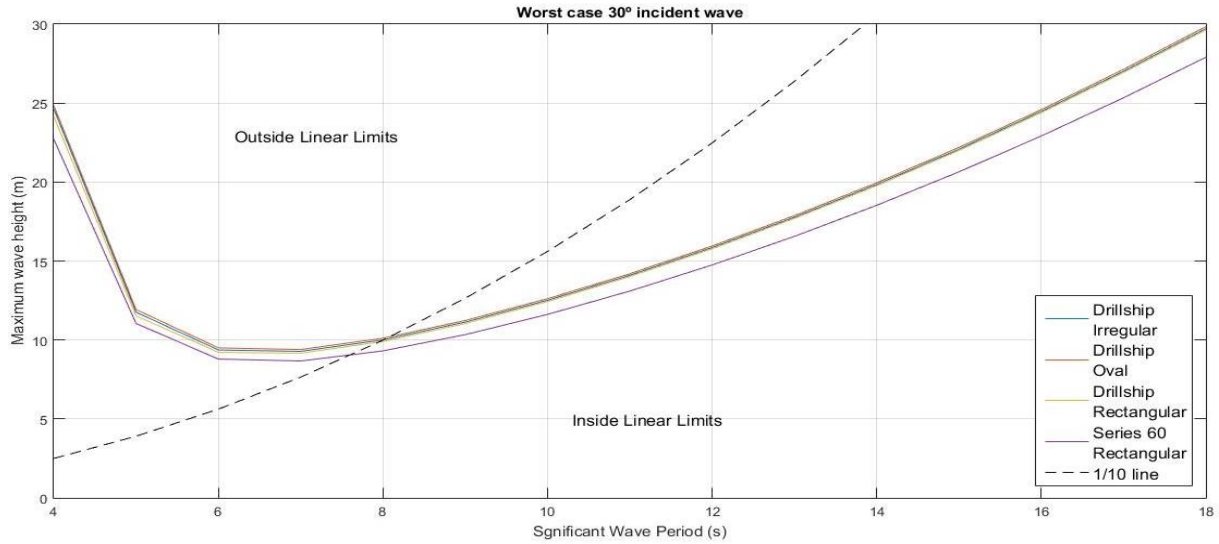
Portanto o conforto, mesmo avaliado de maneira conservativa, não foi o fator limitante, quando comparado aos outros critérios para as configurações analisadas. Nem sempre isso ocorrerá, pois os limites de cinetose podem ser mais restritivos assim como em navios de cruzeiros ou em embarcações menores, já que esses outros tipos de embarcações transportam uma variabilidade maior de pessoas não aclimatadas à oscilações marítimas. Pode haver também uma mudança no comportamento dos outros critérios como por exemplo um prolongamento das bordas do *moonpool* na direção vertical que fará com que a área referente ao *overflow* seja relativamente maior, dessa forma, a cinetose passa a ser a condição mais limitante em ondas de través. Logo, afirma-se que para uma série de configurações de geometria e de condições limites de cada critério a cinetose pode influenciar na operabilidade global da embarcação.

Figura 26: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 0^\circ$



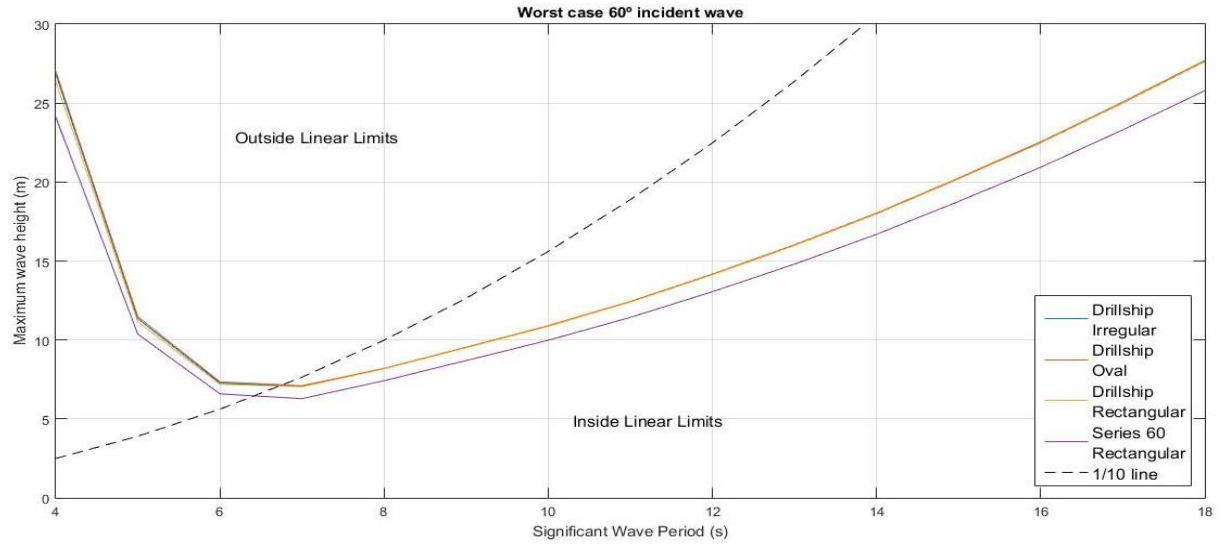
Fonte: O Autor

Figura 27: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 30^\circ$



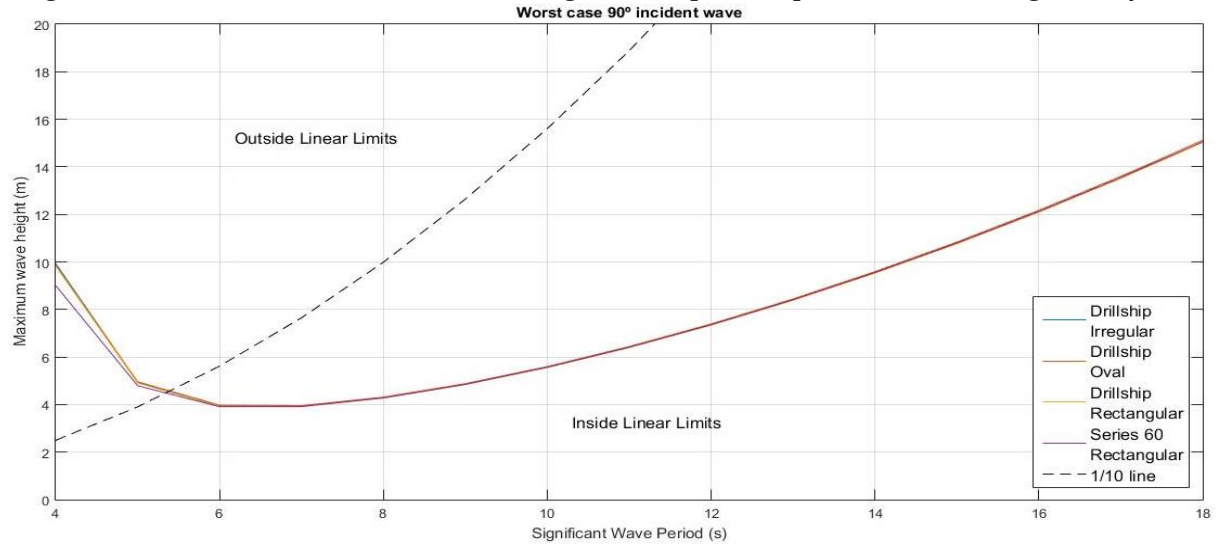
Fonte: O Autor

Figura 28: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 60^\circ$



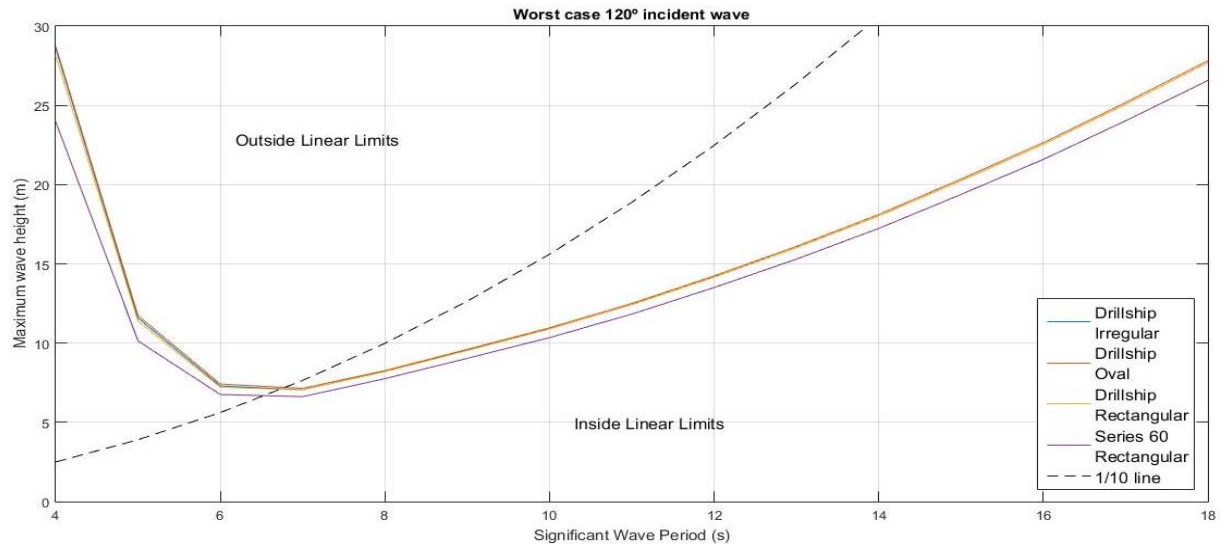
Fonte: O Autor

Figura 29: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 90^\circ$



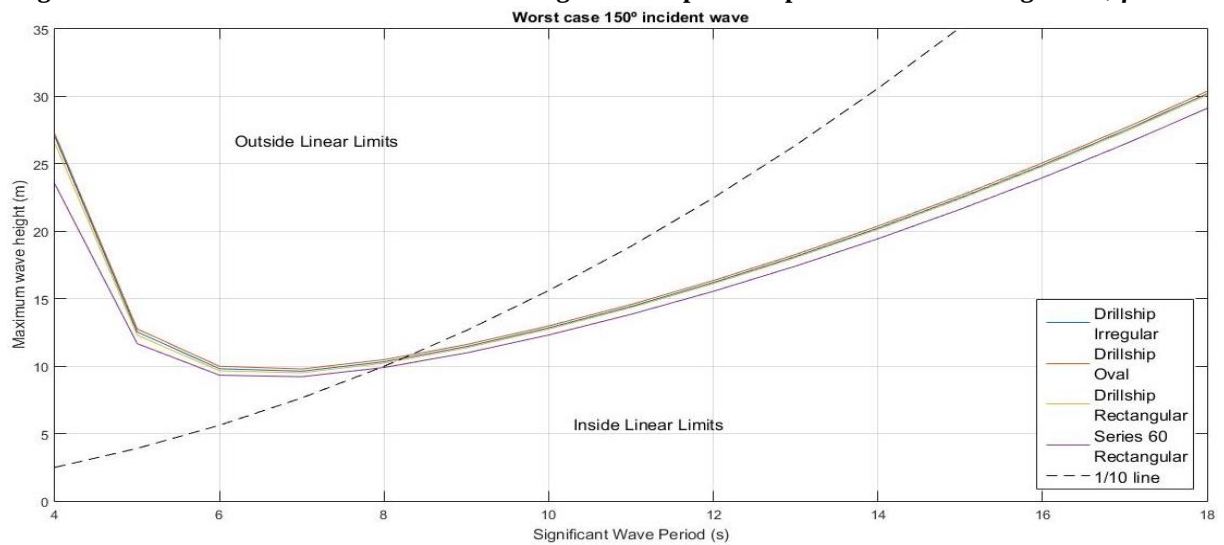
Fonte: O Autor

Figura 30: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 120^\circ$



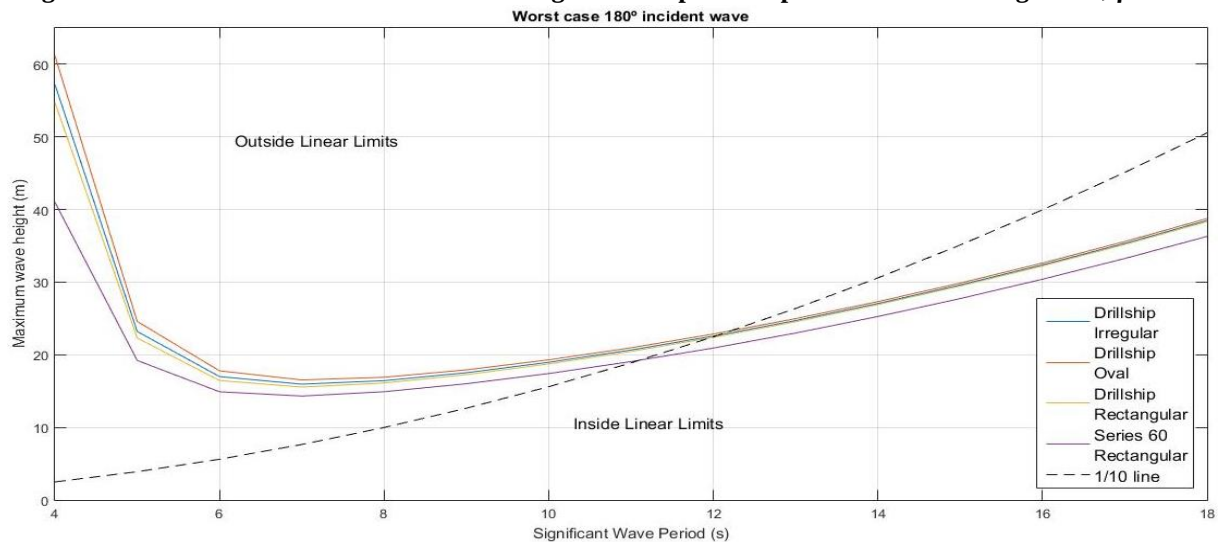
Fonte: O Autor

Figura 31: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 150^\circ$



Fonte: O Autor

Figura 32: Altura máxima de onda X Período significativo para o espectro de onda da Figura 22, $\beta = 180^\circ$

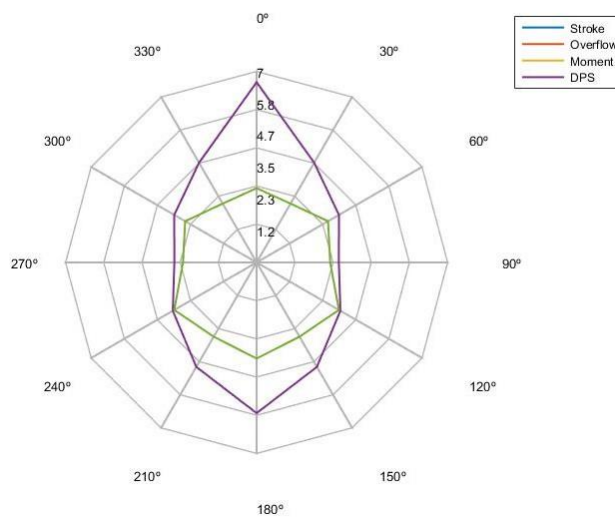


Fonte: O Autor

A cinetose mostra não ser influenciada pela variação do formato do *moonpool*. Essa constatação pode não ser válida para outros critérios como observado em Michima (2017) no critério de transbordo, em que as alturas máximas variaram bastante entre formatos de *moonpool*, conforme observado na comparação das figuras 34 e 35.

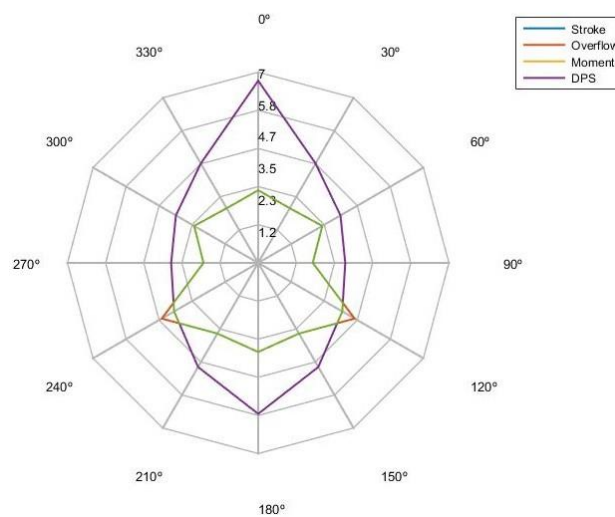
A baixa sensibilidade da cinetose com a variação de *moonpool* provavelmente se deve ao fato de a variação do formato do *moonpool* não ser significativa na alteração das amplitudes de oscilação da aceleração. O que não ocorre com variações no casco, conforme observado na figura 22.

Figura 33: Exemplo de Operabilidade 1
Operable Area - Octagon (10s)



Fonte: Michima (2017)

Figura 34: Exemplo de Operabilidade 2
Operable Area - Ellipse (10s)



Fonte: Michima (2017)

5 CONCLUSÕES

Os objetivos propostos foram alcançados, já que além das adaptações e programas elaborados, analisou-se de maneira qualitativa e quantitativa a cinetose em relação a outros critérios já estabelecidos. O critério de cinetose foi adicionado de forma que, de acordo com as normas vigentes, determine as máximas alturas de onda para a cinetose, dadas as configurações de onda, geometrias da embarcação e limites de operabilidade.

O critério se mostra indiferente à variações da configuração dos *moonpools* utilizados neste trabalho. Porém não se mostra menos importante na determinação da operabilidade, a depender dos limites estipulados pelo usuário.

Portanto, a capacidade da ferramenta na fase de projeto da geometria é melhorada, já que os projetistas terão condições de incluir a variável humana na análise do desempenho. Além disso, esse novo critério incluir mais um parâmetro num diagrama de tomada rápida de decisão, quando em operação.

6 TRABALHOS FUTUROS

Dentro do tema de conforto, sugere-se incrementos à pesquisa como:

- A análise da cinetose para mais variações de casco e *moonpool*;
- A avaliação do comportamento da cinetose na ferramenta de otimização proposta em Michima (2017);
- A introdução e desenvolvimento de novos critérios de operabilidade que são críticos para a tripulação, assim como a predição de fadiga da tripulação;
- Avaliar mudanças no comportamento dos gráficos de radar devido à diferentes velocidades de avanço;
- Investigar se o *VIM* (*Vortex Induced Motion*) e o *VIV* (*Vortex Induced Vibration*) são capazes de influenciar a cinetose

REFERÊNCIAS

- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Guide for Comfort on Yachts, Houston, 2014.
- ARRIBAS, F. L. P.; PIÑEIRO, A. L. Seasickness prediction in passenger ships at the design stage. **Ocean Engineering**, Madrid, 2007. 2086-2092.
- BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.
- BOS, J. E.; BLES, W. Modelling motion sickness and subjective vertical mismatch detailed for vertical motions, Soesterberg, 1998.
- BOS, J. E.; MACKINNON, S. N.; PATTERSON, A. Motion Sickness Symptoms in a Ship Motion Simulator: Effects of Inside, Outside, and No View. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, 2005.
- BRITISH STANDARDS. Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock. **BS 6841**, 1987.
- BRÜEL & KJÆR. **Le vibrazioni del corpo umano**. [S.l.]. 2000.
- CAVALCANTE, T. D. M. **Ferramentas computacionais para geração e seleção de geometrias de moonpool de drillship com base na operabilidade**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2015.
- CEPOWSKI, T. On the modeling of car passenger ferryship design parameters with respect to selected sea-keeping qualities and additional resistance in waves. **Polish Maritime Research**, Szczecin, 2009.
- CEPOWSKI, T. Influence analysis of changes of design parameters of passenger-car ferries on their selected sea-keeping qualities. **Polish Maritime Research**, Szczecin, 2010.
- CEPOWSKI, T. **The Prediction of The Motion Sickness Incidence Index at the initial design stage**. Maritime University of Szczecin. Szczecin. 2012.
- DET NORSKE VERITAS. RULES FOR CLASSIFICATION OF SHIPS: Nautical Safety – Offshore Service Vessels, 2012.
- DET NORSKE VERITAS. RULES FOR CLASSIFICATION OF SHIPS: Comfort Class, 2014.
- DOBIE, T. G. **The Importance of the Human Element in Ship Design**. Proceedings of the Ship Structure Symposium. Arlington: [s.n.]. 2000.
- ESTEBAN, S. et al. Frequency-Domain Analysis for Prediction of Seasickness on Ships. **Marine Technology**, Madrid, Outubro 2005. 192-198.
- FONSECA, Í. A. **Compatibilização de Códigos Computacionais para a Otimização da Configuração de Moon Pool sob o Ponto de Vista da Operabilidade**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2016.
- GOLDING, J. F. Motion Sickness Susceptibility. **Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical**, Westminster, 2006.

GOLDING, J. F.; MARKEY, H. M.; STOTT, J. R. R. The effects of motion direction, body axis, and posture on motion sickness induced by low frequency linear oscillation. **Aviation Space and Environmental Medicine**, 1995.

GRIFFIN, M. J. **Handbook of Human Vibration**. London: Academic Press, 1990.

HUTCHISON, B. L. Seakeeping Studies: A status report. **SNAME Transactions**, Seattle, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. **ISO 2631-1**, Geneva, 1997.

JEDICK, R. '. Pulling G's – The Effects of G-Forces on the Human Body. **Site Go Flight Med**, 5 Abril 2013. Disponivel em: <<http://goflightmedicine.com/pulling-gs/>>. Acesso em: Agosto 2017.

KAWABE, H. **Three dimensional drill ship motion and moonpool water surface elevation simulation program - Regular and irregular wave version**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

LAWTHER, A.; GRIFFIN, M. J. Prediction of the incidence of motion sickness from the magnitude, frequency, and duration of vertical oscillation. **Journal of the Acoustical Society of America**, Southampton, LXXXII, 1987. 957-966.

MANSFIELD, N. J. **Human Response to Vibration**. Boca Raton: CRC PRESS, 2005.

MCCAULEY, M. E. et al. Motion Sickness incidence: exploratory studies of habituation, pitch and roll, and the refinement of a mathematical model. **Human Factors Research**, Goleta, 1976.

MICHIMA, P. S. A. **OPTIMIZATION OF PRISMATIC MOON POOL CONFIGURATION BY OPERABILITY CRITERIA**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2017.

MICHIMA, P. S. A.; KAWABE, H. **Preliminary Chart of Drill Ship Operability Considering Moon-Pool Sloshing Effects**. Recife. 2014.

O'HANLON, J. F.; MCCAULEY, M. E. Motion sickness incidence as a function of the frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion., Goleta, 1974.

SCAMARDELLA, A.; PISCOPO, V. Passenger ship seakeeping optimizations by the Overall Motion Sickness Incidence. **Ocean Engineering**, Napoli, 2013.

STEVENS, S. C.; PARSONS, M. G. Effects of Motion at Sea on Crew Performance: A Survey. **Marine Technology**, XXXIX, 1 Janeiro 2002. 29-47.

TURAN, O. **A rational approach for reduction of motion sickness & improvement of passenger confort & safety in sea transportation**. COMPASS Project. [S.l.]. 2002.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

- Adaptação do programa de cálculo hidrodinâmico (Elaborado por Hiroshi Kawabe)

```

C      MAIN: FILE NAME (3Dmotion.Moonpool.Regular-Irregular.round.f )
C*****
C*                                     *
C*      THREE DIMENSIONAL DRILL SHIP MOTION AND MOONPOOL WATER      *
C*      SURFACE ELEVATION SIMULATION PROGRAM                        *
C*                                     *
C*      REGULAR and IRREGULAR WAVE VERSION                          *
C*                                     *
C*                                     *
C*      EXTERNAL WAVE INDUCED FORCE : IMPULSE RESPONSE FUNCTION      *
C*      MEMORY EFFECTFUNCTION                                         *
C*      TIME INTEGRAL OF EQUATION OF MOTION :NEWMARK-BETA METHOD     *
C*      ANIMATION OUTPUT FOR MICRO AVS                              *
C*      MOONPOOL WATER ELEVATION                                     *
C*      SHORT CRESTED IRREGULAR WAVE RESPONSE                       *
C*                                     *
C*      ROUND CORNER MOON POOL VERSION                              *
C*                                     *
C*                                     *
C*                                     By Hiroshi Kawabe              *
C*                                     May      16 2015                *
C*                                     November 28 2016               *
C*                                     December 26 2016               *
C*                                     January  14 2017 *              *
C*                                     *                              *
C*                                     *                              *
C*****

```

- Sub-rotina OFFSET (linhas incluídas)

```

[...]  
SPECGWACC = FTITLE//'-WEIGHTED-ACCELALATION-SPEC.DAT'  
[...]  
OPEN(UNIT=95,FILE=SPECGWACC,  
*   ACCESS ='SEQUENTIAL' ,  
*   STATUS='UNKNOWN')

```

- Sub-rotina MOTIONIR (linhas incluídas; loops e “if’s” já existentes)

```

[...]  
C ----- LONG CRESTED IRREGULAR WAVE CONDITION -----  
C  
C  
C      DO 200 ISPECT = 1,3  
C  
C  
C      DO 210 KDIRE = 1,13  
[...]  
C      IF (IPRINTSP .GT. 0 ) THEN  
[...]  
C      WRITE(95,*)'   LONG CRESTED IRREGULAR WAVE'  
C      WRITE(95,*) 'NACC',NACC  
C      WRITE(95,1101) HS,WAVEBETA,ZMOON,SPECTYPE(ispect)  
[...]  
C      END IF  
C      DO 220 IT = 1,NTWAVE  
[...]  
C      DO 226 IACC = 1,NACC  
[...]  
C      RACCZG(IT,IACC,KDIRE) = 0.0D0  
C      DO 227 JJOMEGA = 1,NOMEGA  
[...]  
C      SPACCZG(IT,JJOMEGA,IACC) = 0.0D0  
227 CONTINUE  
226 CONTINUE  
[...]  
C ----- SHIP ACC. IRREGULAR RESPONSE INCLUDING FILTER FOR MOTION SICKNESS -----  
C  
C      IF (OMEGAJ(JJOMEGA) .LE. 7.0D-1) THEN  
C      GWEI(JJOMEGA) = OMEGAJ(JJOMEGA)/(7.0D-1)  
C      ELSE  
C      IF(OMEGAJ(JJOMEGA) .LE. 1.7D0) THEN  
C      GWEI(JJOMEGA) = 1.0D0

```

```

ELSE
    GWEI(JJOMEGA) = (1.7D0/OMEGAJ(JJOMEGA))
                    ** (2.85D0)
*
END IF
END IF

DO 998 IACC = 1,NACC
    SPACCZG(IT,JJOMEGA,IACC) = SPACCZG(IT,JJOMEGA,IACC)
    + ABS(ZACCZ(IACC,JJOMEGA,KDIRE))
    *ABS(ZACCZ(IACC,JJOMEGA,KDIRE))
    *GWEI(JJOMEGA)*GWEI(JJOMEGA)
    *WSPECT
*
998 CONTINUE
[...]
IF (IPRINTSP .GT. 0 ) THEN
    DO 305 IT = 1,NTWAVE
[...]
C
C ----- PRINT OU ACC. WEIGHTED SPECTRUM -----
C
    WRITE(95,*)
    WRITE(95,*) ' WAVE DIRECTION ',30.0D0*(KDIRE-1),' DEG.'
    WRITE(95,*) ' WAVE PERIOD TZ ',3.0D0 + IT,' SEC.'
    WRITE(95,*)
    DO 313 JJOMEGA = 1,NOMEGA
        WRITE(95,1200) JJOMEGA,OMEGAJ(JJOMEGA),
            WSPECTT(IT,JJOMEGA),
            (SPACCZG(IT,JJOMEGA,IACC),
            IACC=1,NACC)
*
313 CONTINUE
[...]
END IF
[...]
WRITE(95,1300) BETAD,HS,SPECTYPE(ISPECT-1)
WRITE(95,1218)
C
C ----- MOTION ACC., AND DRIFT FORCE -----
C
    DO 340 IT = 1,NTWAVE
[...]
        DO 346 IACC = 1,NACC
            DO 348 J JOMEGA = 1,NOMEGA-1
[...]
                RACCZG(IT,IACC,KDIRE) = RACCZG(IT,IACC,KDIRE)
                + (SPACCZG(IT,JJOMEGA ,IACC)
                + SPACCZG(IT,JJOMEGA+1,IACC))*0.5D0*DOMECA
*
348 CONTINUE
346 CONTINUE

340 CONTINUE
DO 350 IT = 1,NTWAVE
    WRITE(95,1222) TZ,
        (SQRT(RACCZG(IT,IACC,KDIRE))),
        IACC=1,NACC)
*
[...]
350 CONTINUE
[...]
    DO 413 IACC = 1,NACC
[...]
        DO 997 KDIRE = 1,13
            RL(KDIRE) = RACCZG(IT,IACC,KDIRE)
            CONTINUE
            CALL SCREST(RL,RS)
            DO 996 KDIRE = 1,13
                RACCZSG(IT,IACC,KDIRE) = RS(KDIRE)
            CONTINUE
996 CONTINUE
413 CONTINUE
[...]
DO 500 KDIRE = 1,13
[...]
    WRITE(95,1310) WAVEBETA,HS,SPECTYPE(ISPECT-1)
[...]
    WRITE(95,1218)
[...]
    DO 510 IT = 1,NTWAVE
[...]
        WRITE(95,1222) TZ,(SQRT(RACCZSG(IT,IACC,KDIRE))),
            IACC=1,NACC)
*
[...]
510 CONTINUE
500 CONTINUE
[...]
    WRITE(95,1400)
200 CONTINUE
[...]
```

```

1218 FORMAT(/,2X,'***** STANDARD DEVIATION OF RESPONSE',
*      '*****',//,5X,'SHIP ACCERLATION',//,
*      5X,'TZ ( SEC. )',
*      ' ACCZ(m/sec**2) ',
*      ' ACCZ(m/sec**2) ',
*      ' ACCZ(m/sec**2) ',
*      ' ACCZ(m/sec**2) ')
[...]
```

• Programa principal (Motion_Sickness.m)

```

% function to calculate MSDVz
clc
clear all
close all
%
folder_name = 'cinetose operations';
mkdir(folder_name);

% Copy files relevant to calculus of the seasickness
copyfile('PANEL.drill-ship.dat',folder_name);
copyfile('Principal.drillship.MoonPool.dat',folder_name);
copyfile('WAVE.CONDITION.RAO-IRREGULAR.DAT',folder_name);
copyfile('Wave100000.dat',folder_name);
copyfile('drillsim/3Dmotion.Moonpool.exe',folder_name);
copyfile('Optimization_Parameters.dat',folder_name);
copyfile('determina_pontos_cinetose.m',folder_name);
copyfile('leitor_acc_gspec.m',folder_name);
%
cd(folder_name);

id_pontos = determina_pontos_cinetose; %point selection

movefile('Principal.drillship.MoonPool.dat','Principal.drillship.MoonPool.old'); %keeping original
principal file
movefile('Principal.drillship.MoonPool(2).DAT','Principal.drillship.MoonPool.dat'); %renaming new principal
file

fid = fopen('Optimization_Parameters.dat','r');
tline = textscan(fid,'%*c %s %s %s %s %d',6,'HeaderLines',18);
ativ(:,1) = tline{1,3};
wave(:,1) = tline{1,1};
wave(:,2) = tline{1,2};
tline = textscan(fid,'%f','HeaderLines',2);
T_opt = tline{1};

status = 1000; % initializing with an improbable value from system output
while status == 1000
    command = '3Dmotion.Moonpool.exe' ;
    status = system(command);
end
disp('saiu do fortran');

[info_LC,info_SC,Beta] = leitor_acc_gspec(id_pontos);

%limits defined for vomiting incidence
% 20% over 4 ours of exposition
% using VI proposed by Pérez Arribas

VI = 20;
t_exp = 3600*4;
Km = 1/3; %for distributed population
MSDV_limit = VI/Km;
Awz_limit = MSDV_limit/sqrt(t_exp);

ativ=logical(ativ);

H_LC_Max = info_LC;
H_SC_Max = info_SC;

for i=1:size(H_LC_Max,1)
    H_LC_Max{i,2}=cell2mat(H_LC_Max{i,2});
    H_LC_Max{i,2}(:,2:size(H_LC_Max{i,2},2)) = ((H_LC_Max{i,2}(:,2:size(H_LC_Max{i,2},2)))/Awz_limit).^-1;
    for j=1:size(ativ,1)
        if strcmp(wave{j,2},'LONG') && strcmp(wave{j,1},H_LC_Max{i,1})
            H_LC_Max{i,2}(:,2:size(H_LC_Max{i,2},2)) =
H_LC_Max{i,2}(:,2:size(H_LC_Max{i,2},2)).*ativ(j,1);
        end
    end
    H_LC_Max{i,2} = mat2cell(H_LC_Max{i,2},[15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15],size(H_LC_Max{i,2},2));
end

for i=1:size(H_SC_Max,1)
    H_SC_Max{i,2}=cell2mat(H_SC_Max{i,2});
```

```

H_SC_Max{i,2}(:,2:size(H_SC_Max{i,2},2)) = ((H_SC_Max{i,2}(:,2:size(H_SC_Max{i,2},2)))/Awz_limit).^~1;
for j=1:size(ativ,1)
    if strcmp(wave{j,2},'SHORT') && strcmp(wave{j,1},H_LC_Max{i,1})
        H_SC_Max{i,2}(:,2:size(H_SC_Max{i,2},2)) = H_SC_Max{i,2}(:,2:size(H_SC_Max{i,2},2))*ativ(j);
    end
end
H_SC_Max{i,2} = mat2cell(H_SC_Max{i,2},[15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15],size(H_SC_Max{i,2},2));
end

for i=1:size(H_LC_Max,1)
    for j=1:size(Beta,1)
        for k=1:size(H_LC_Max{i,2}{j,1},1)
            [minimos, index] = min(H_LC_Max{i,2}{j,1}(:,2:size(H_LC_Max{2,2}{1,1},2)),[],2);
            for z=1:size(T_opt,2)
                if T_opt(z) == H_LC_Max{i,2}{j,1}(k,1)
                    H_LC_Max{i,2}{j,2}{z,1} = [T_opt(z) minimos(k) index(k)];
                end
            end
        end
        H_LC_Max{i,2}{j,2} = cell2mat(H_LC_Max{i,2}{j,2});
        if size(H_LC_Max{i,2}{j,2},1) == 1
            H_LC_Max{i,2}{j,3} = H_LC_Max{i,2}{j,2}(1,:);
        else
            [minimos, index] = min(H_LC_Max{i,2}{j,2});
            H_LC_Max{i,2}{j,3} = H_LC_Max{i,2}{j,2}(index(1,2),:);
        end
    end
end

for i=1:size(H_SC_Max,1)
    for j=1:size(Beta,1)
        for k=1:size(H_SC_Max{i,2}{j,1},1)
            [minimos, index] = min(H_SC_Max{i,2}{j,1}(:,2:size(H_SC_Max{2,2}{1,1},2)),[],2);
            for z=1:size(T_opt,2)
                if T_opt(z) == H_SC_Max{i,2}{j,1}(k,1)
                    H_SC_Max{i,2}{j,2}{z,1} = [T_opt(z) minimos(k) index(k)];
                end
            end
        end
        H_SC_Max{i,2}{j,2} = cell2mat(H_SC_Max{i,2}{j,2});
        if size(H_SC_Max{i,2}{j,2},1) == 1
            H_SC_Max{i,2}{j,3} = H_SC_Max{i,2}{j,2}(1,:);
        else
            [minimos, index] = min(H_SC_Max{i,2}{j,2});
            H_SC_Max{i,2}{j,3} = H_SC_Max{i,2}{j,2}(index(1,2),:);
        end
    end
end

minimo_LC = inf.*ones(size(Beta,1),2);
minimo_onda_LC = cell(size(Beta,1),1);
minimo_SC = minimo_LC;
minimo_onda_SC = minimo_onda_LC;
minimo_global = minimo_LC;
minimo_onda_global = cell(size(Beta,1),2);

for i=1:size(Beta,1)
    for j=1:size(H_LC_Max,1)
        if (H_LC_Max{j,2}{i,3}(1,2) < minimo_LC(i)) && (H_LC_Max{j,2}{i,3}(1,2)~=0)
            minimo_LC(i,1) = H_LC_Max{j,2}{i,3}(1,2);
            minimo_LC(i,2) = H_LC_Max{j,2}{i,3}(1,1);
            minimo_onda_LC{i} = H_LC_Max{j,1};
        end
    end
    for j=1:size(H_SC_Max,1)
        if (H_SC_Max{j,2}{i,3}(1,2) < minimo_SC(i)) && (H_SC_Max{j,2}{i,3}(1,2)~=0)
            minimo_SC(i,1) = H_SC_Max{j,2}{i,3}(1,2);
            minimo_SC(i,2) = H_SC_Max{j,2}{i,3}(1,1);
            minimo_onda_SC{i} = H_SC_Max{j,1};
        end
    end
    if minimo_LC(i,1) < minimo_SC(i,1)
        minimo_global(i,:) = minimo_LC(i,:);
        minimo_onda_global{i,1} = minimo_onda_LC{i};
        minimo_onda_global{i,2} = 'LONG CRESTED';
    else
        minimo_global(i,:) = minimo_SC(i,:);
        minimo_onda_global{i} = minimo_onda_SC{i};
        minimo_onda_global{i,2} = 'SHORT CRESTED';
    end
end
Beta = (pi/180).*Beta;

figure(1)
polar(Beta(:,1),minimo_global(:,1),'-o')
view([90 -90])
title(['Maximum Wave Height for VI. Worst case for ', num2str(T_opt(:)),' s Significant Period'])

```

```

minimo_T_opt=zeros(size(Beta,1),1);
aux=2;
t = 0:.01:2*pi;
for i=1:size(H_LC_Max,1)
    for k=1:size(T_opt,2)
        for j =1:size(Beta,1)
            minimo_T_opt(j,1) = H_LC_Max{i,2}{j,2}(k,2);
        end
        a = figure(aux);
        P = polar(t, 30 * ones(size(t)));
        set(P, 'Visible', 'off')
        hold on
        polar(Beta(:,1),minimo_T_opt(:,1),'-o')
        view([90 -90])
        title(['T = ', num2str(T_opt(k)), 's ', H_LC_Max{i,1}, ', Long crested'])
        savefig(a, [H_LC_Max{i,1}, ' Long crested ', num2str(T_opt(k)), '.fig'])
        aux=aux+1;
        close(a);
    end
end

minimo_T_opt=zeros(size(Beta,1),1);
for i=1:size(H_SC_Max,1)
    for k=1:size(T_opt,2)
        for j =1:size(Beta,1)
            minimo_T_opt(j,1) = H_SC_Max{i,2}{j,2}(k,2);
        end
        a = figure(aux);
        P = polar(t, 25 * ones(size(t)));
        set(P, 'Visible', 'off')
        hold on
        polar(Beta(:,1),minimo_T_opt(:,1),'-o')
        view([90 -90])
        grid on
        title(['T = ', num2str(T_opt(k)), 's ', H_SC_Max{i,1}, ', Short crested'])
        savefig(a, [H_SC_Max{i,1}, ' Short crested ', num2str(T_opt(k)), '.fig'])
        aux=aux+1;
        close(a);
    end
end

```

• Classificação de pontos escolhidos (determina_pontos_cinetose.m)

```

function [id_point] = determina_pontos_cinetose
    %function to choose points

    %% reading files and obtaining data

    fid = fopen('PANEL.drill-ship.dat','r'); % open grid file
    line_data = textscan(fid,'%*[''Total Grid      '''] %d %d %d',1, 'Headerlines',5); %read
    total_number_of_points, number_of_free_surface_points, id that start the moonpool
    num_v = line_data{1}; %total number of points
    num_vfs = line_data{2}; %number of free surface points
    startMP = line_data{3}; %id of the beginning of the MP
    v = zeros(num_v,3); %Mesh nodes

    for i=1:num_v %scanning vetices
        information
            if i == 1
                line_data = textscan(fid,'%*f %f %f %f',1, 'Headerlines',8); %skip header and read the
            first vertice
            else
                line_data = textscan(fid,'%*f %f %f %f',1, 'Headerlines',1); %read other information
            end
            v(i,1)=line_data{1};
            v(i,2)=line_data{2};
            v(i,3)=line_data{3};
        end

        fclose(fid);

        k = 1; %counter for vertices from the ship border in z=0
        h = 1; %counter for vertices from the MP in z=0
        v_zero = zeros(num_v,2); %ship border in z=0
        v_border_zero = zeros(num_v,2); %MP border in z=0

        for i=1:num_v
            if (v(i,3) == 0) && (i<startMP) %grabbing the points from the ship at z=0
                v_zero(k,1) = v(i,1);
                v_zero(k,2) = v(i,2);
                k = k + 1;
            elseif (v(i,3)==0) && (i>= startMP) && (i<(num_v-num_vfs+1)) %grabbing the border points of the
            moonpool at z=0
                v_border_zero(h,1) = v(i,1);

```

```

        v_border_zero(h,2) = v(i,2);
        h = h + 1;
    end
end
v_zero( ~any(v_zero,2), : ) = []; %clean rows equal to 0
v_border_zero( ~any(v_border_zero,2), : ) = []; %clean rows equal to 0

k = 1;
n = length(v_zero);
while k<=n %cleaning repeated values
    j=1;
    while j<=n
        if (k~=j)
            if (v_zero(k,1)==v_zero(j,1)) && (v_zero(k,2)==v_zero(j,2))
                v_zero(j,:) = [];
                n=length(v_zero);
                j=j-1;
            end
        end
        j=j+1;
    end
    k=k+1;
end

min_xv0 = (0.55-0.25)*max(v_zero(:,1)); %min grid x (approximate position of the house)
max_xv0 = (0.55+0.25)*max(v_zero(:,1)); %max grid x (approximate position of the house)

indic = -inf;
for i=1:size(v_zero,1)
    if (v_zero(i,1) >= min_xv0) && (v_zero(i,1) <= max_xv0) && (v_zero(i,2) > indic)
        max_yv0 = v_zero(i,2); %max grid y
        indic = max_yv0;
    end
end
max_yv0 = max_yv0-0.9;

%% getting the number of lines of the archive
fid = fopen('Principal.drillship.MoonPool.DAT','r');
count = 0; %total number of lines
while true %loop to count the total
    number of lines of an archive (including lines left in blank)
    if ~ischar( fgetl(fid) ); %search if the line has a
        data that is not a char %if that happens break
        break;
    end
    the "while" condition
    count = count + 1; %increment of the counter
end
of lines

frewind(fid);

%% Choosing points

nx = 3; %number of points in x
ny = 3; %number of points in y
dx = (max_xv0-min_xv0)/(nx-1); %increment of x
dy = max_yv0/(ny-1); %increment of y
xps = (min_xv0:dx:max_xv0); %vector of x possible points
yps = (0:dy:max_yv0); %vector of y possible points
coord_possible_points = (combvec(xps,yps))'; %combination of the 2 vectors above

%verification if the possible points are inside or on border of the ship.
[in,on] = inpolygon(coord_possible_points(:,1),coord_possible_points(:,2),v_zero(:,1),v_zero(:,2));
for i=1:size(on,1)
    if coord_possible_points(i,2) == 0 %if y coordinate equals to 0 the point isn't on border
        on(i)=0;
    end
end
in =logical(in.*~(on)); %points that must be taken for evaluation are
the ones that are in and not on
coord_possible_points = coord_possible_points(in,:); %removal of the points that are outside ship
border
in =
inpolygon(coord_possible_points(:,1),coord_possible_points(:,2),v_border_zero(:,1),v_border_zero(:,2));
%verification if the possible points are inside moonpool
coord_possible_points = coord_possible_points((~in),:); % points outside moonpool
id_point = [coord_possible_points zeros(size(coord_possible_points,1),1)]; %final selection of points

%% saving the information inside the file

replace_line = 30; %line to be replaced
text = 'NACC ' ; %text to be written
text2 = ''Relative water cal. information''; %comparative text
mydata = cell(1,count); %variable that will keep information from the principal
drillship
for k = 1:count %retrieving file data
    mydata{k} = fgetl(fid);
end

```

```

end
fclose(fid);

%% placing the information inside the file

fid = fopen('Principal.drillship.MoonPool(2).DAT','w'); %open a new drillship data
gat = 0; %trigger variable
for i=1:(count+size(id_point,1))
    if i < replace_line
        fprintf(fid,'%s \n',mydata{i}); %copying existing data
    until reach the point data to fill
    elseif i == replace_line
        fprintf(fid,'%s' %d \n',text,size(id_point,1)); %changing line that
contains the total number of points
    elseif (i > replace_line) && (i <= (replace_line+size(id_point,1)))
        fprintf(fid,'%x, y, z (m) ' %f, %f, %f \n',id_point(i-replace_line,1),id_point(i-
replace_line,2),id_point(i-replace_line,3)); %placing the points
    else
        tf = strcmp(mydata{i-size(id_point,1)},text2); %compare if it is in the
correct position to restart the filling data
        if (tf == 1 || gat == 1)
            gat = 1;
            fprintf(fid,'%s \n',mydata{i-size(id_point,1)}); %replace the remaining data
of the panel file
        end
    end
end
fclose(fid);

%creating figure that show the mp and ship border and the points chosen
%to calculate the acceralation still need to find a way to the figure
%stop popping

a=figure(1);
plot(v_zero(:,1),v_zero(:,2),'r-');
hold on
grid on
plot(v_border_zero(:,1),v_border_zero(:,2),'b-');
scatter(id_point(:,1),id_point(:,2),'k*');
daspect([150 100 1]);
savefig(a,'pontos');
hold off
close(a);

end

```

• Leitor do arquivo de aceleração (leitor_acc_gspec.m)

```

function [info_LC,info_SC,BETA] = leitor_acc_gspec(id_point)
% reads Fortran spectrum file independently of headerline counting
% info_LC is the 3x3 cell array for long crested
% info_SC is the 3x3 cell array for short crested
% each cell array above is composed of:
% 1st. column: spectrum type
% 2nd. column: incidence angle
% 3rd. column: cell array of response matrices (each response matrix is T x npoints+1 size)
% sig_H is dummy for "vaigue" situations

fid = fopen('DRILL SHIP -WEIGHTED-ACCELALATION-SPEC.DAT','r'); %opening file to read
acceleration data

% strings for comparison to track the positions in file
long = 'LONGCRESTEDIRREGULARWAVECONDITION' ;
short = 'SHORTCRESTEDIRREGULARWAVECONDITION' ;
wave = ' WAVE DIRECTION' ;
spec_type = ' SPECTRUM TYPE' ;
beg_data = ' TZ ( SEC. ) ACCZ (m/sec**2) ACCZ (m/sec**2) ACCZ (m/sec**2) ACCZ (m/sec**2) ' ;

% counters to know how many filled in lines of information are there about
% the variables Beta and cell array
count_specL = 0;
count_specS = 0;

% trick to overcome the line break existence. The modulus is coded to print
% 61 info columns in each line. If the matrix block has more than 61 lines,
% it means that there is line break
num_info = size(id_point,1)+1 ;
if num_info > 61
    n_linhas = floor(num_info/61); %integer of the division
    resto = rem(num_info,61) ;
    if resto ~= 0
        n_linhas = n_linhas+1 ;
    end
end

```

```

end

% allocating memory
info_SC = cell(3,2);
info_LC = cell(3,2);
dado_compleL = zeros(30,num_info);
dado_compleS = zeros(30,num_info);
BETA = [];

tam = 0 ;
ind_linha = 1 ;
specL = '' ;
specs = '' ;

% While not end of file
while ~feof(fid)
    gat3 = 0; % trigger to identify whether there is broken line or not
    gat = 0; % trigger to identify when should start acquiring data from file
    tline = sscanf(fgetl(fid), '%s'); % acquire the file's line content
    if strcmp(tline,long) % if the header is of the chosen sea, check the spectrum type
        while gat == 0 ;
            tline = fgetl(fid);
            if strcmpi(tline,wave,18) && (count_specL <=1) % if the spectrum is the chosen one, find
the Beta value info
                beta = sscanf(tline, '%*s %*s %d %*s');
            elseif (strcmpi(tline,spec_type,15)) % if the line is the heading of the columns, store
following data
                spec = sscanf(tline, '%*s %*s %s');
            elseif strcmpi(tline,beg_data,40) % if it reached the next heading of columns, exit the
loop to check again
                gat = 1;
            end
        end
        % copied the data to the variables will be now rearranged to store in the cell arrays
        i = 1 ; % identifier of line breaks
        clear tline
        tline = {}; % clearing draft variable
        while ~isempty(tline{1}) % while there still is content to store
            if gat3 == 1
                ind_linha = 1; % indicator of the n-th broken line
                tam = 0; % size of the rest of the broken line
                gat3 = 0; % trigger to identify whether there is broken line or not
            end
            if num_info > 61 % if there is line break, run the procedure to mend the pieces
                if ind_linha ~= n_linhas
                    tline = textscan(fid, '%f', 61) ;
                else
                    tline = textscan(fid, '%f', resto);
                end
            else
                tline = textscan(fid, '%f', num_info) ;
            end
            if ~isempty(tline{1}) % if there is a blank line among the data lines
                if num_info < 61
                    dado_compleL(i,:) = tline{1}' ;
                    i = i + 1;
                else
                    if ind_linha ~= n_linhas
                        for j = 1 : 61
                            dado_compleL(i,j+tam) = tline{1}(j,1);
                        end
                        tam = tam + 61 ;
                        ind_linha = ind_linha+1;
                    else
                        for j = 1 : resto
                            dado_compleL(i,j+tam) = tline{1}(j,1);
                        end
                        gat3 = 1 ;
                        i = i + 1;
                    end
                end
            end
        end
        end
        end
        dado_compleL( ~any(dado_compleL,2), : ) = []; % clear unused memory
    elseif strcmp(tline,short) % same as "if strcmp(tline,long)" loop, but for short crested sea
        while gat == 0
            tline = fgetl(fid) ;
            if (strcmpi(tline,spec_type,15))
                spec = sscanf(tline, '%*s %*s %s') ;
            elseif strcmpi(tline,beg_data,40)
                gat = 2 ;
            end
        end
        end
        i = 1 ;
        clear tline
        tline = {};
        while ~isempty(tline{1})
            if gat3 == 1

```

```

        ind_linha = 1;
        tam       = 0;
        gat3      = 0;
    end
    if num_info > 61
        if ind_linha ~= n_linhas
            tline = textscan(fid, '%f', 61) ;
        else
            tline = textscan(fid, '%f', resto);
        end
    else
        tline = textscan(fid, '%f', num_info) ;
    end
    if ~isempty(tline{1})
        if num_info < 61
            dado_compleS(i,:) = tline{1}' ;
            i = i + 1;
        else
            if ind_linha ~= n_linhas
                for j = 1 : 61
                    dado_compleS(i,j+tam) = tline{1}(j,1);
                end
                tam = tam + 61 ;
                ind_linha = ind_linha+1;
            else
                for j = 1 : resto
                    dado_compleS(i,j+tam) = tline{1}(j,1);
                end
                gat3 = 1 ;
                i = i + 1;
            end
        end
    end
    end
    end
    dado_compleS( ~any(dado_compleS,2), : ) = [];
end
if gat == 1 % check there is info to be stored in the current place
    % if there is already anything, it means that the name of spectrum
    % type has already been stored, so skip to the next cell array. If
    % not, store the spectrum type and proceed to its corresponding info
    % in the next cell array
    if ~strcmp(specs,spec)
        info_LC{1+count_specL,1} = spec;
        specs = spec;
        count_specL = count_specL+1;
        cont_dadoL = 1;
    end
    if count_specL == 1 % store beta values. used only in long crested because the attack angles in
    short crested are always the same from long
        BETA = [BETA;beta];
    end
    % store the data matrices of short crested waves
    info_LC{count_specL,2}{cont_dadoL,1} = dado_compleL;
    cont_dadoL = cont_dadoL+1;
elseif gat == 2
    if ~strcmp(specs,spec)
        info_SC{1+count_specS,1} = spec;
        specs = spec ;
        count_specS = count_specS+1 ;
        cont_dadoS = 1 ;
    end
    info_SC{count_specS,2}{cont_dadoS,1} = dado_compleS;
    cont_dadoS = cont_dadoS+1 ;
end
end

[b,m1,n1] = unique(BETA, 'first'); %
[c1,d1] = sort(m1); % eliminating repeated values
BETA = BETA(d1); %

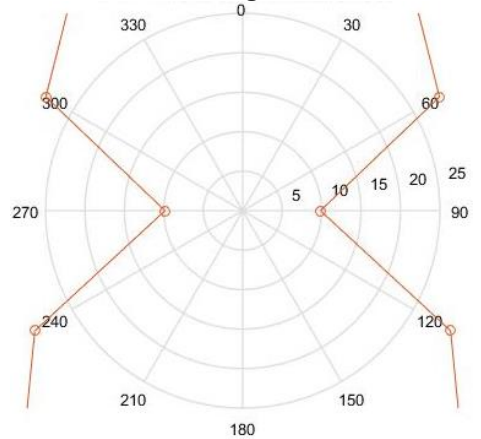
fclose(fid);
end

```

APÊNDICE B – OPERABILIDADE EM DIFERENTES PERÍODOS E ESPECTROS

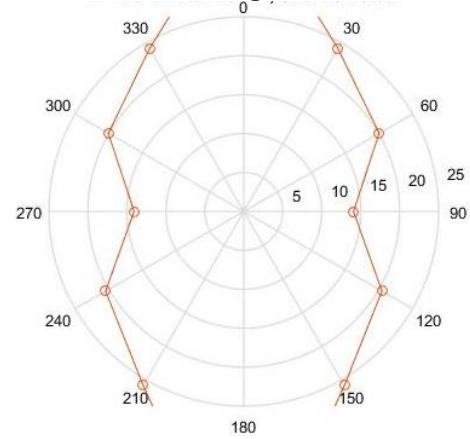
• Retangular

Figura 35: 4s, Bretchneider Long Crested, Retangular



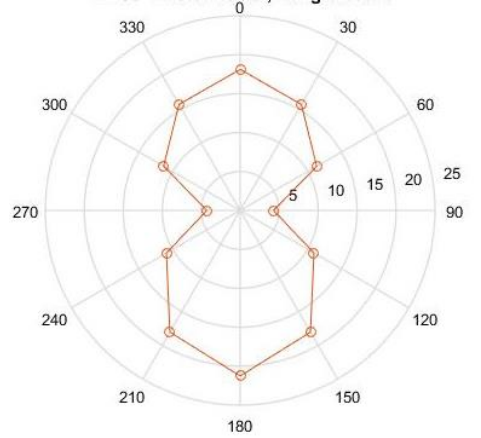
Fonte : O Autor

Figura 38: 4s, Bretchneider Short Crested, Retangular



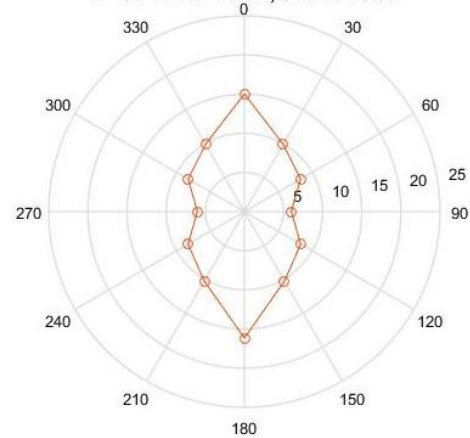
Fonte : O Autor

Figura 36: 8s, Bretchneider Long Crested, Retangular



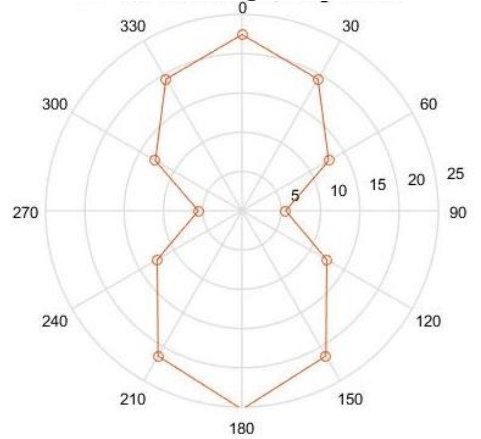
Fonte : O Autor

Figura 39: 8s, Bretchneider Short Crested, Retangular



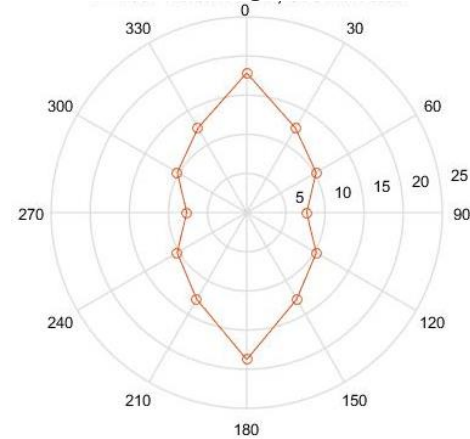
Fonte : O Autor

Figura 37: 10s, Bretchneider Long Crested, Retangular



Fonte : O Autor

Figura 40: 10s, Bretchneider Short Crested, Retangular



Fonte: O Autor

Figura 41: 12s, Bretchneider Long Crested, Retangular

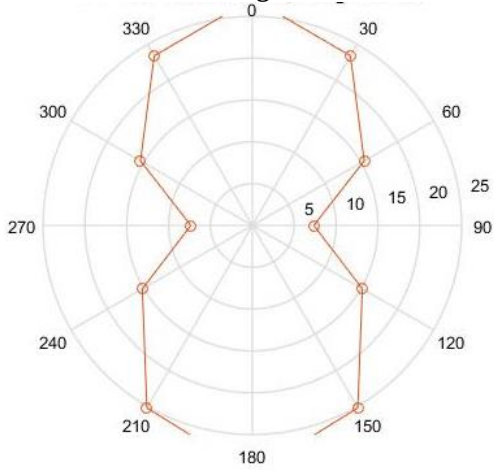


Figura 44: 12s, Bretchneider Short Crested, Retangular

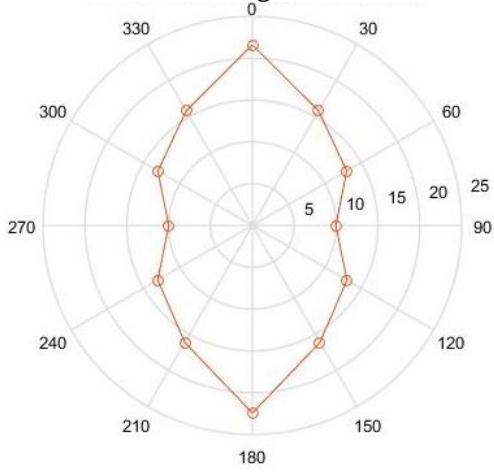


Figura 42: 4s, IACS Long Crested, Retangular

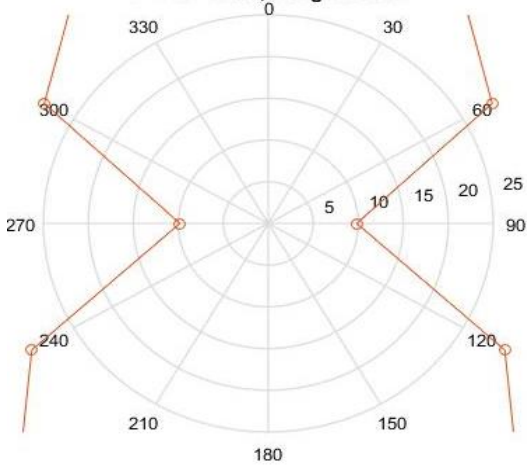


Figura 45: 4s, IACS Short Crested, Retangular

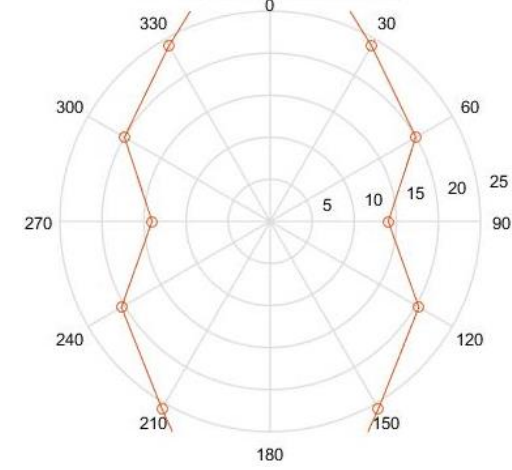


Figura 43: 8s, IACS Long Crested, Retangular

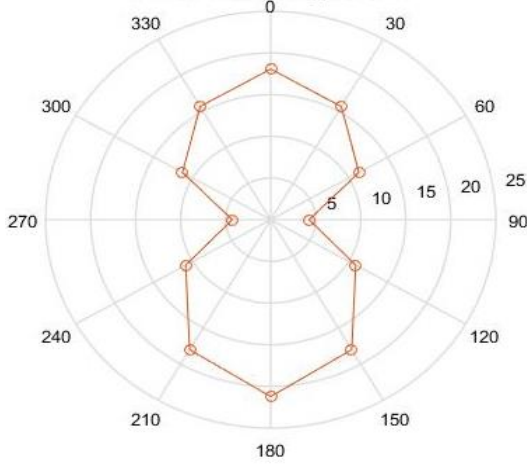


Figura 46: 8s, IACS Short Crested, Retangular

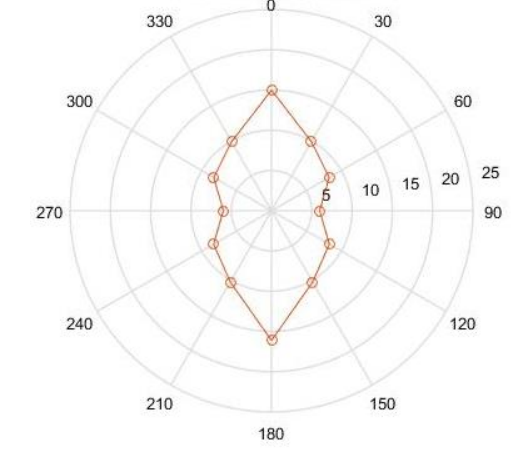
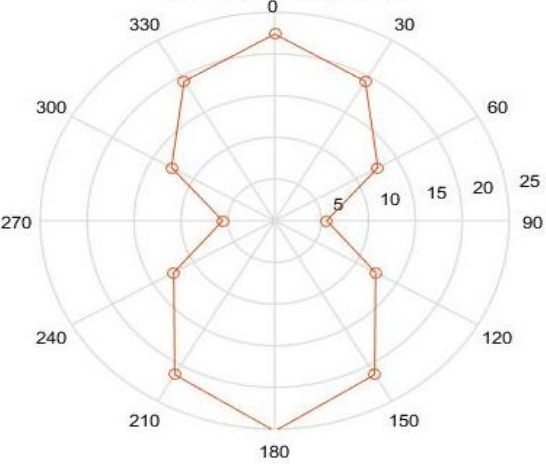
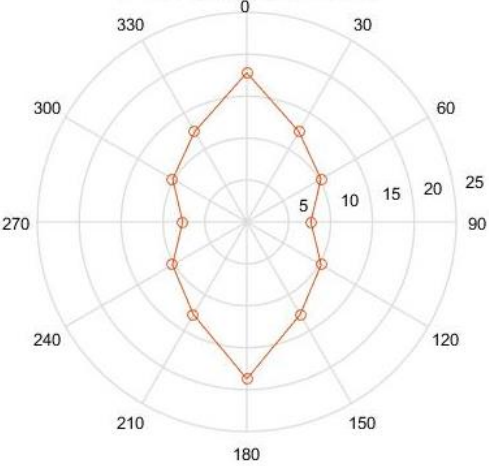


Figura 47: 10s, IACS Long Crested, Retangular



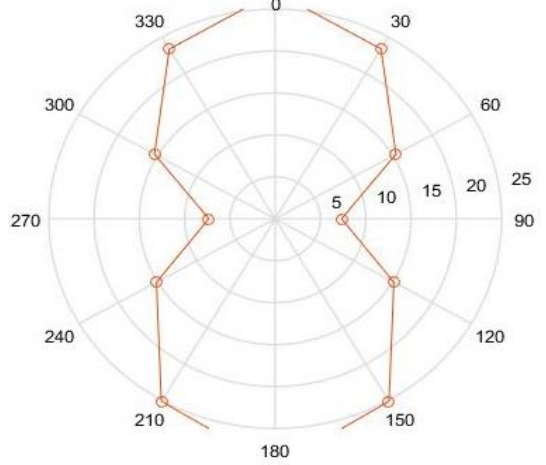
Fonte: O Autor

Figura 50: 10s, IACS Short Crested, Retangular



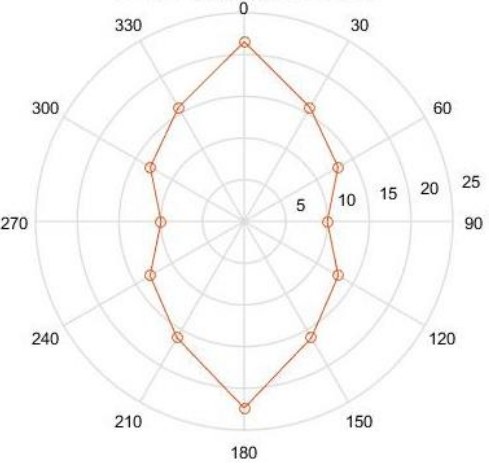
Fonte: O Autor

Figura 48: 12s, IACS Long Crested, Retangular



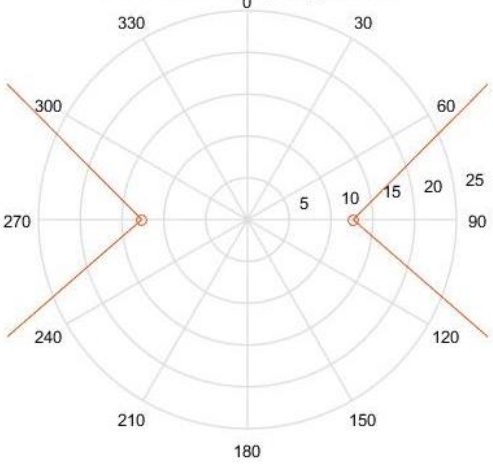
Fonte: O Autor

Figura 51: 12s, IACS Short Crested, Retangular



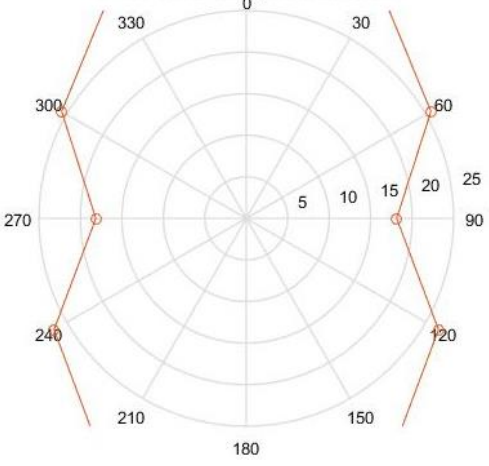
Fonte: O Autor

Figura 49: 4s, JONSWAP Long Crested, Retangular



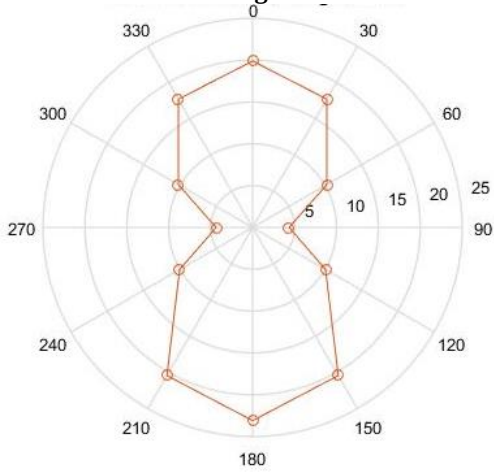
Fonte: O Autor

Figura 52: 4s, JONSWAP Short Crested, Retangular



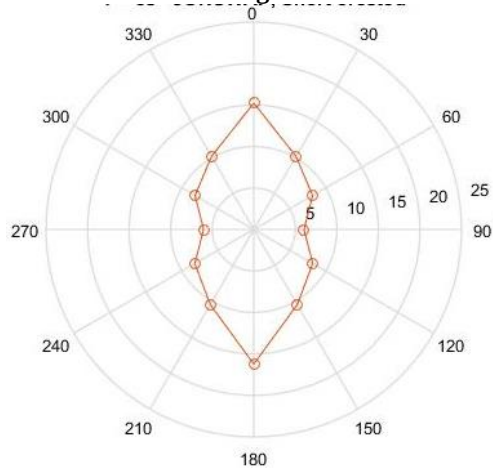
Fonte: O Autor

Figura 53: 8s, JONSWAP Long Crested, Retangular



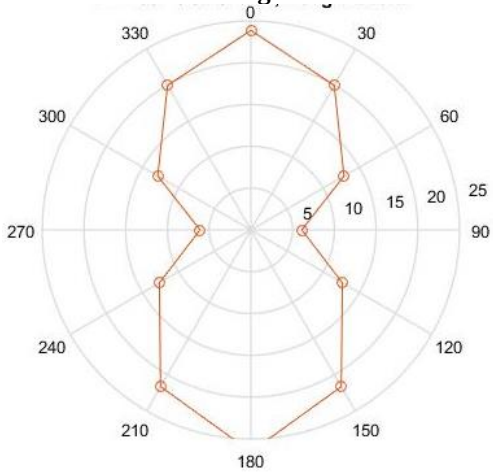
Fonte: O Autor

Figura 56: 8s, JONSWAP Short Crested, Retangular



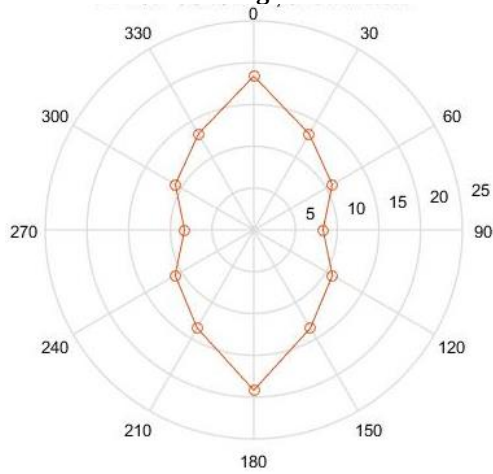
Fonte: O Autor

Figura 54: 10s, JONSWAP Long Crested, Retangular



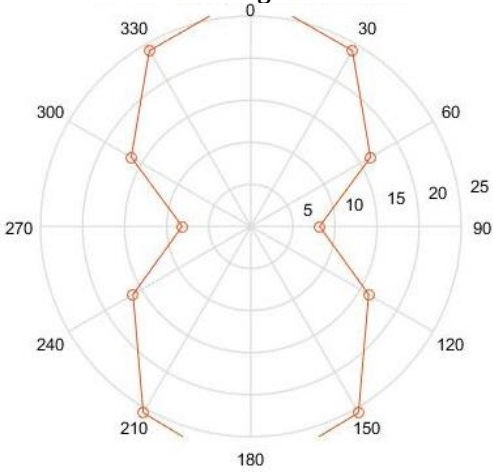
Fonte: O Autor

Figura 57: 10s, JONSWAP Short Crested, Retangular



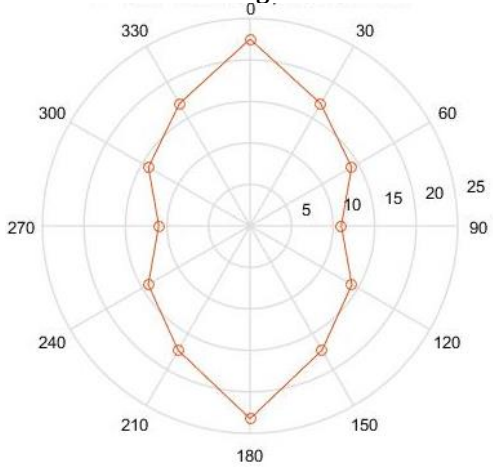
Fonte: O Autor

Figura 55: 12s, JONSWAP Long Crested, Retangular



Fonte: O Autor

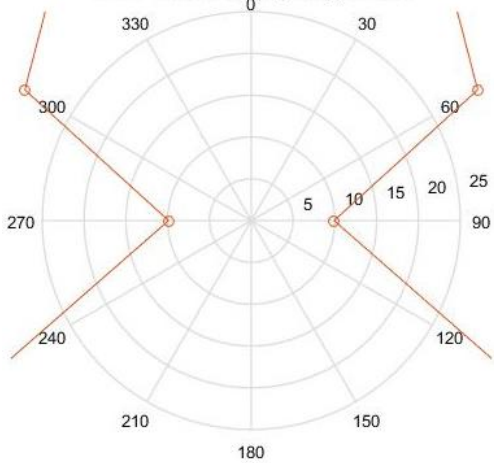
Figura 58: 12s, JONSWAP Short Crested, Retangular



Fonte: O Autor

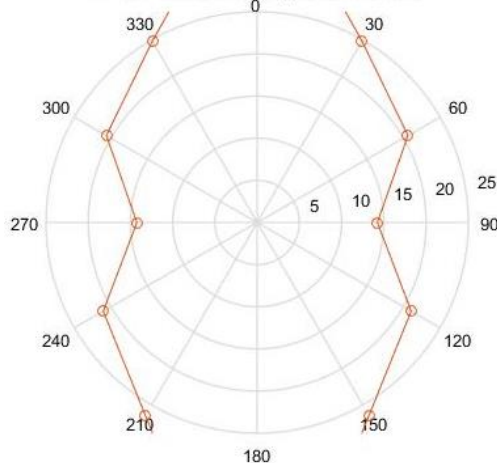
• Oval

Figura 59: 4s, Bretchneider Long Crested, Oval



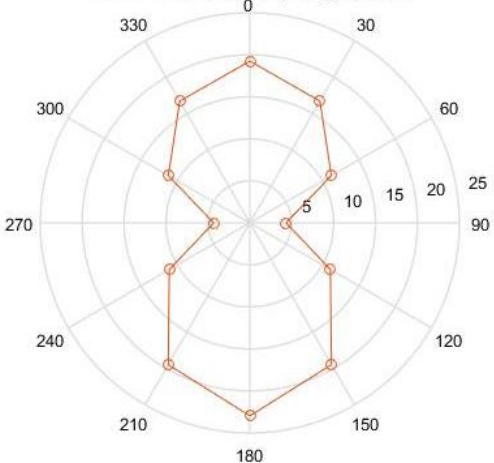
Fonte: O Autor

Figura 62: 4s, Bretchneider Short Crested, Oval



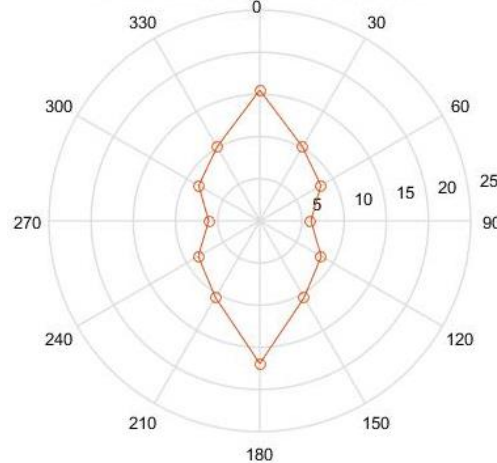
Fonte: O Autor

Figura 60: 8s, Bretchneider Long Crested, Oval



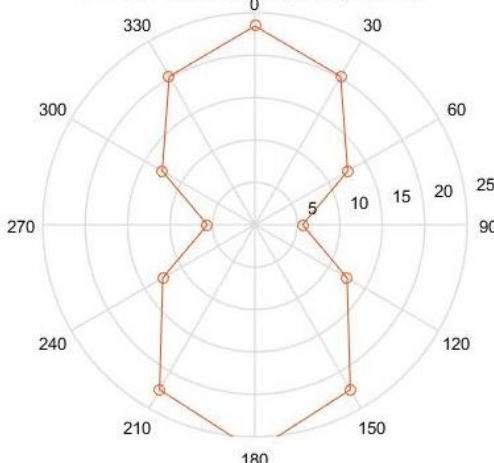
Fonte: O Autor

Figura 63: 8s, Bretchneider Short Crested, Oval



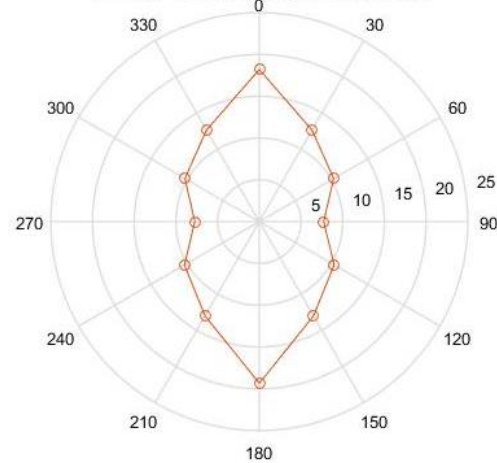
Fonte: O Autor

Figura 61: 10s, Bretchneider Long Crested, Oval



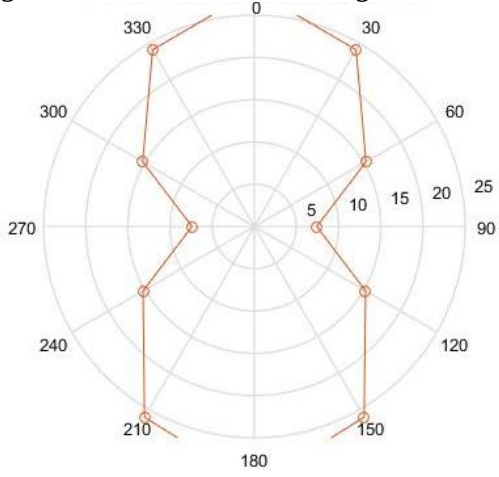
Fonte: O Autor

Figura 64: 10s, Bretchneider Short Crested, Oval



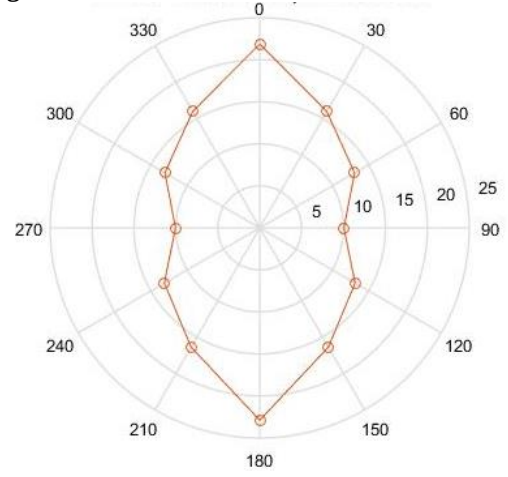
Fonte: O Autor

Figura 65: 12s, Bretchneider Long Crested, Oval



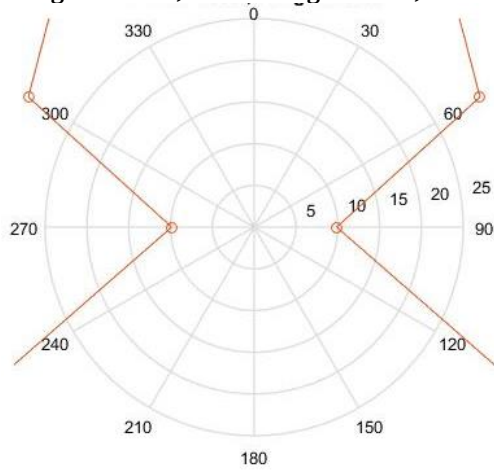
Fonte: O Autor

Figura 68: 12s, Bretchneider Short Crested, Oval



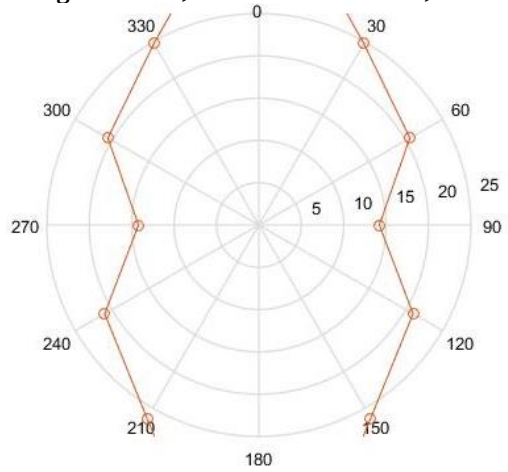
Fonte: O Autor

Figura 66: 4s, IACS Long Crested, Oval



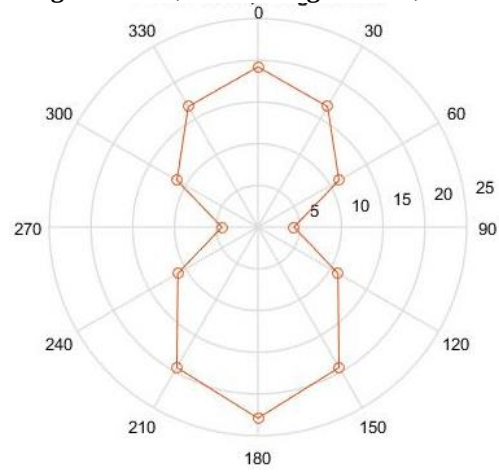
Fonte: O Autor

Figura 69: 4s, IACS Short Crested, Oval



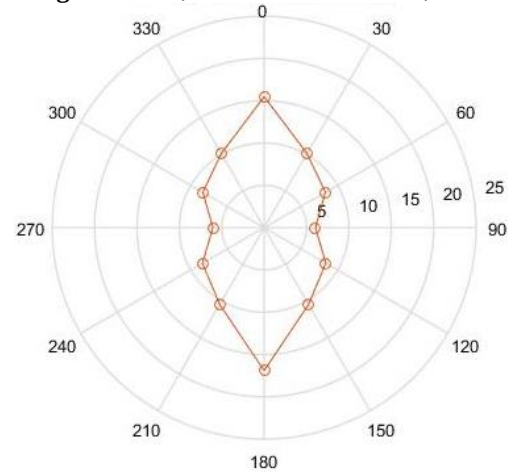
Fonte: O Autor

Figura 67: 8s, IACS Long Crested, Oval



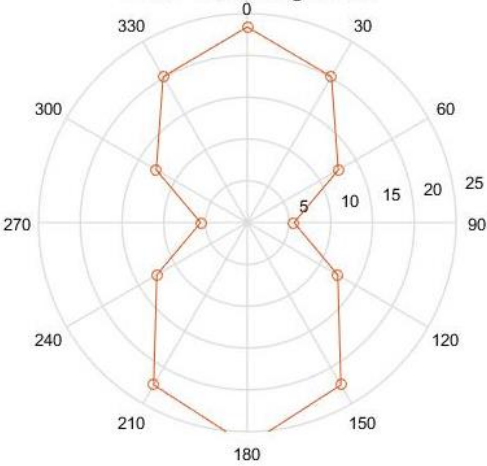
Fonte: O Autor

Figura 70: 8s, IACS Short Crested, Oval



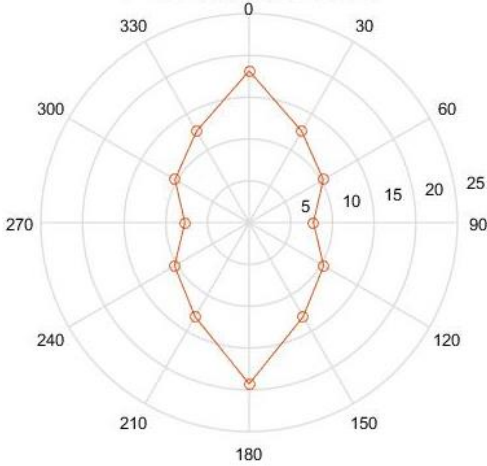
Fonte: O Autor

Figura 71: 10s, IACS Long Crested, Oval



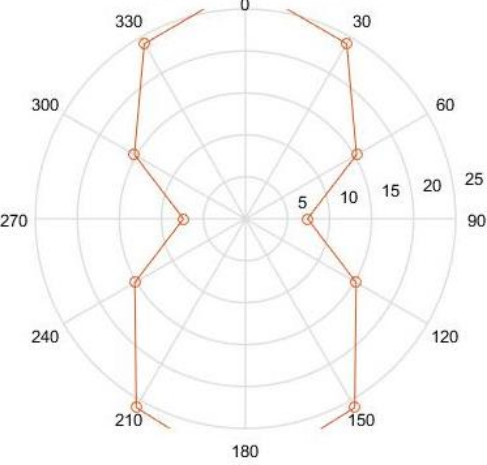
Fonte: O Autor

Figura 74: 10s, IACS Short Crested, Oval



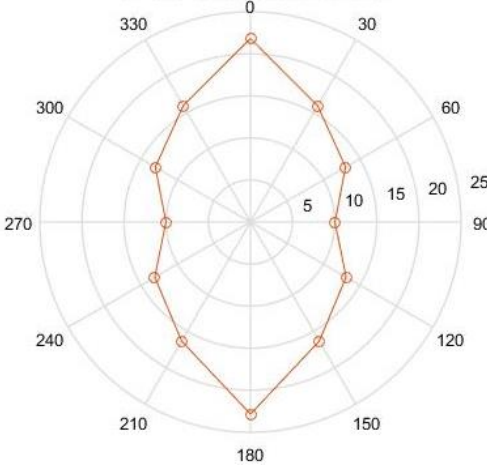
Fonte: O Autor

Figura 72: 12s, IACS Long Crested, Oval



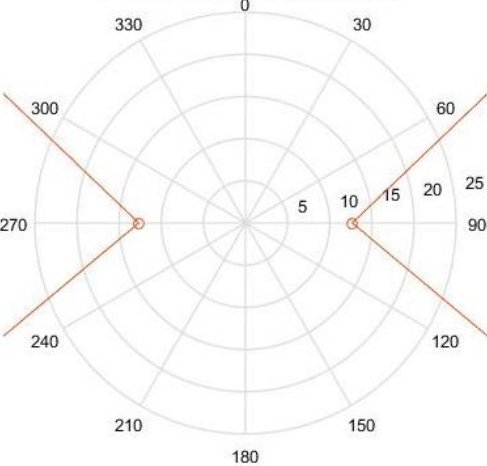
Fonte: O Autor

Figura 75: 12s, IACS Short Crested, Oval



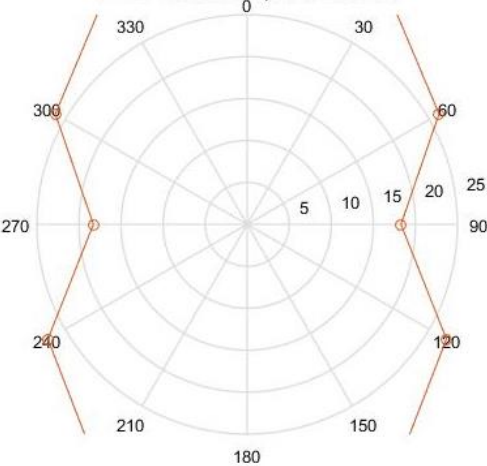
Fonte: O Autor

Figura 73: 4s, JONSWAP Long Crested, Oval



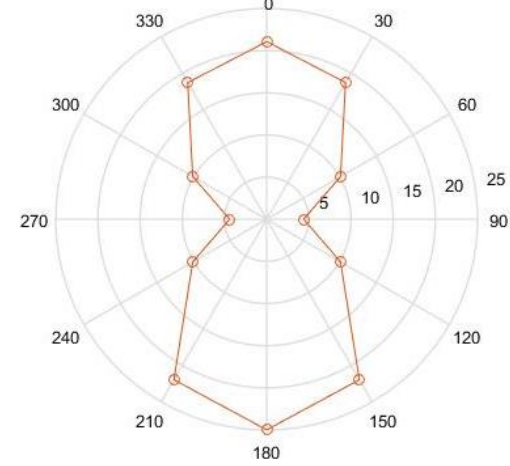
Fonte: O Autor

Figura 76: 4s, JONSWAP Short Crested, Oval



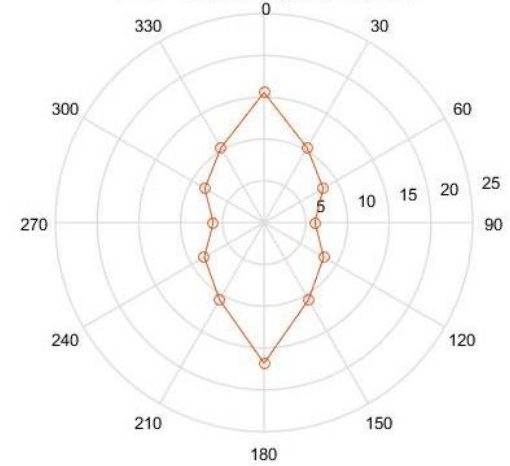
Fonte: O Autor

Figura 77: 8s, JONSWAP Long Crested, Oval



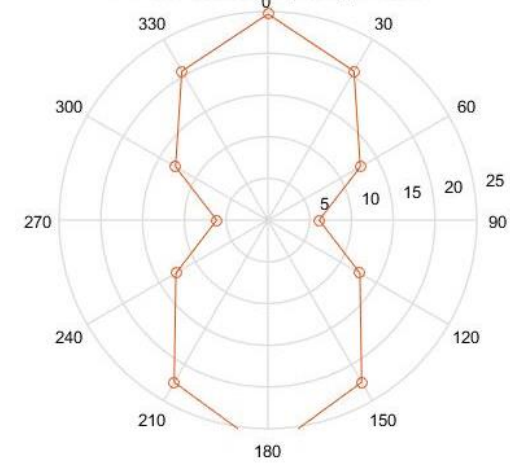
Fonte: O Autor

Figura 80: 8s, JONSWAP Short Crested, Oval



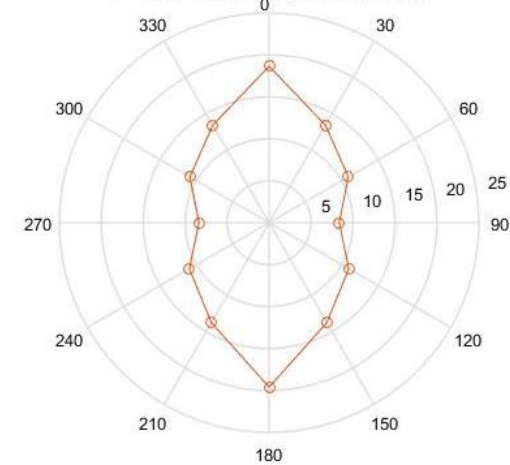
Fonte: O Autor

Figura 78: 10s, JONSWAP Long Crested, Oval



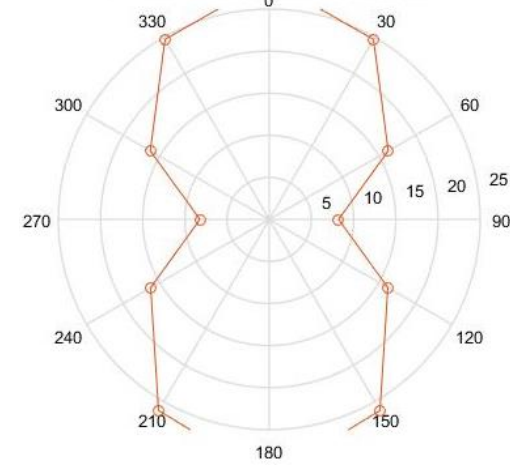
Fonte: O Autor

Figura 81: 10s, JONSWAP Short Crested, Oval



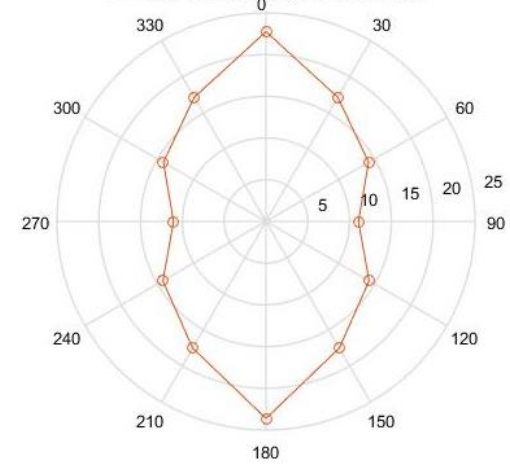
Fonte: O Autor

Figura 79: 12s, JONSWAP Long Crested, Oval



Fonte: O Autor

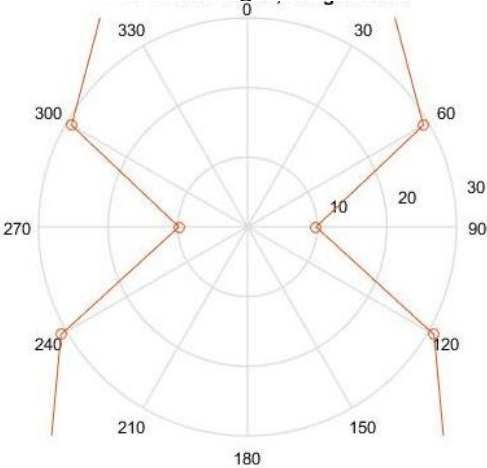
Figura 82: 12s, JONSWAP Short Crested, Oval



Fonte: O Autor

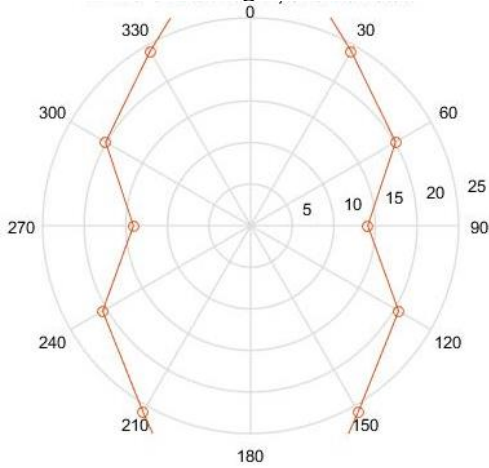
• Irregular

Figura 83: 4s, Bretchneider Long Crested, Irregular



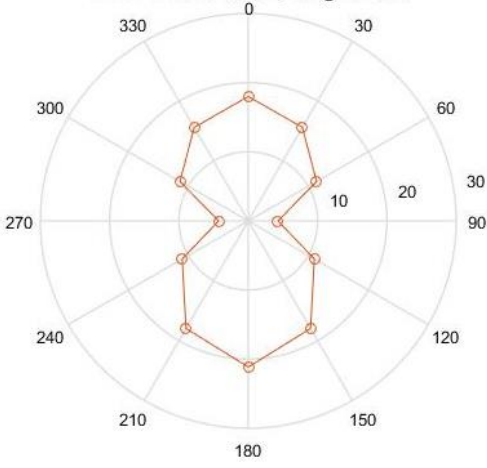
Fonte: O Autor

Figura 86: 4s, Bretchneider Short Crested, Irregular



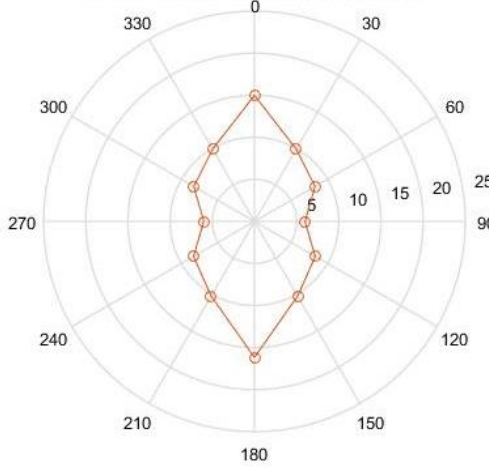
Fonte: O Autor

Figura 84: 8s, Bretchneider Long Crested, Irregular



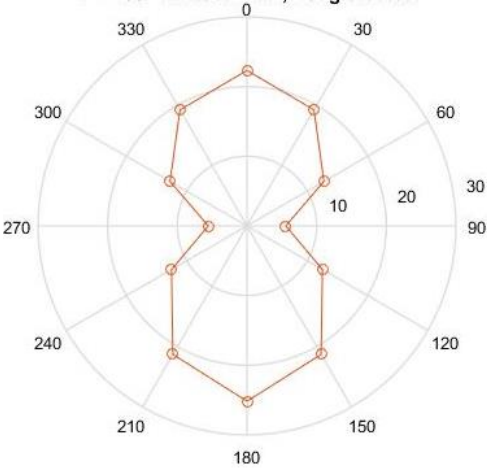
Fonte: O Autor

Figura 87: 8s, Bretchneider Short Crested, Irregular



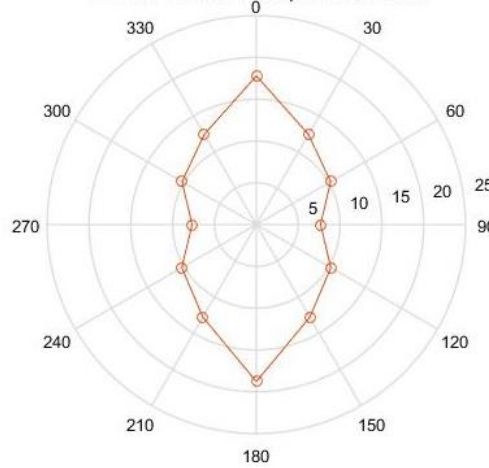
Fonte: O Autor

Figura 85: 10s, Bretchneider Long Crested, Irregular



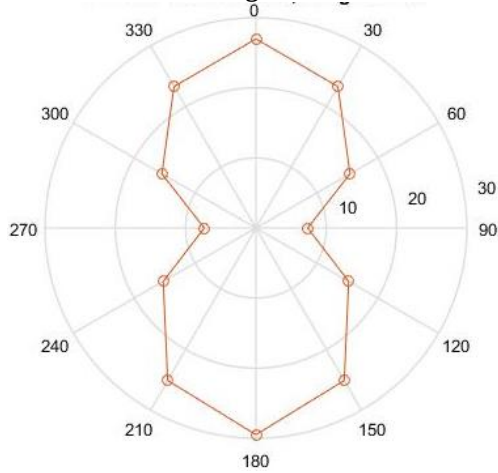
Fonte: O Autor

Figura 88: 10s, Bretchneider Short Crested, Irregular



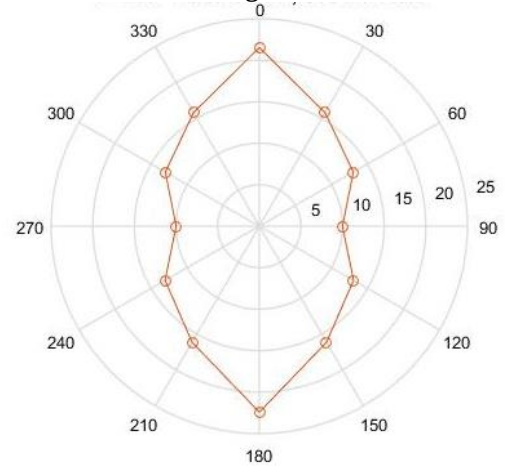
Fonte: O Autor

Figura 89: 12s, Bretchneider Long Crested, Irregular



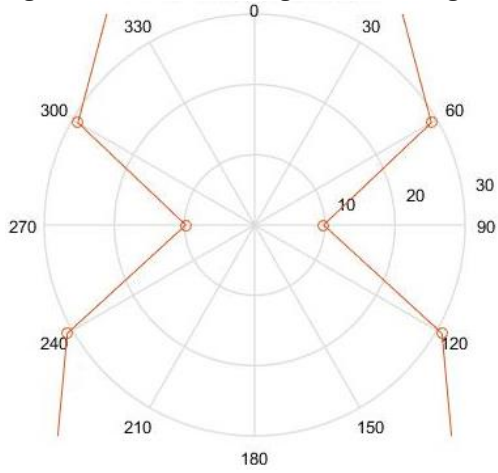
Fonte: O Autor

Figura 92: 12s, Bretchneider Short Crested, Irregular



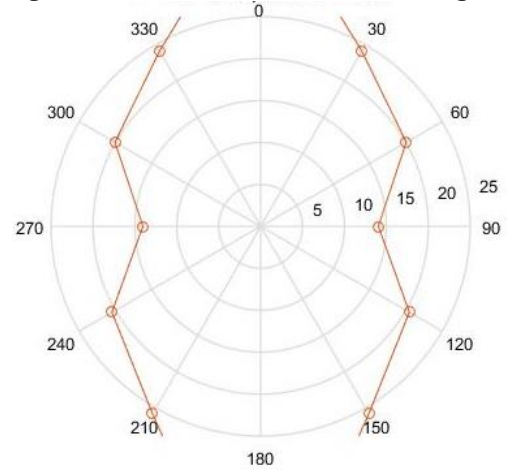
Fonte: O Autor

Figura 90: 4s, IACS Long Crested, Irregular



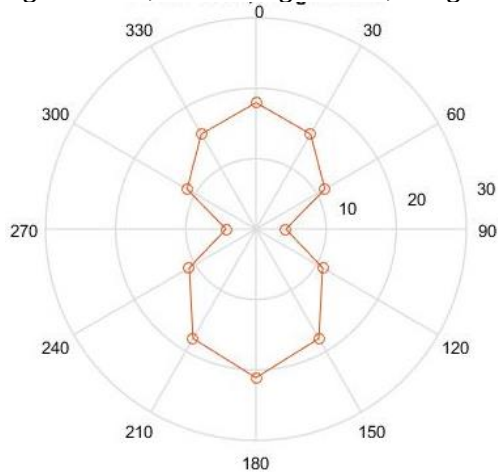
Fonte: O Autor

Figura 93: 4s, IACS Short Crested, Irregular



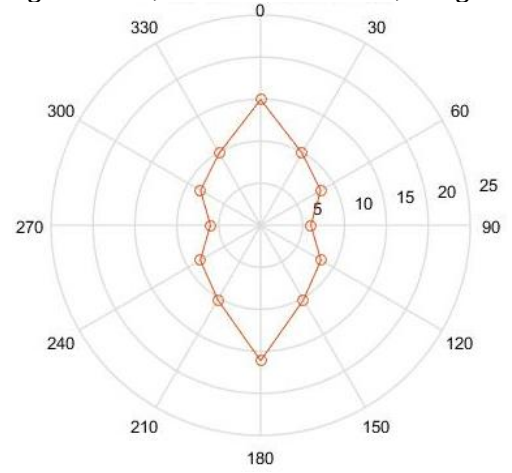
Fonte: O Autor

Figura 91: 8s, IACS Long Crested, Irregular



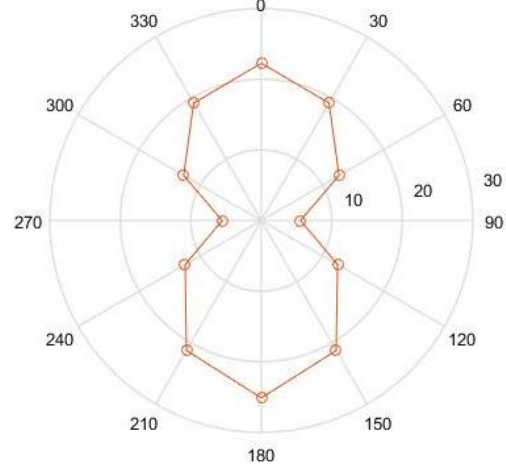
Fonte: O Autor

Figura 94: 8s, IACS Short Crested, Irregular



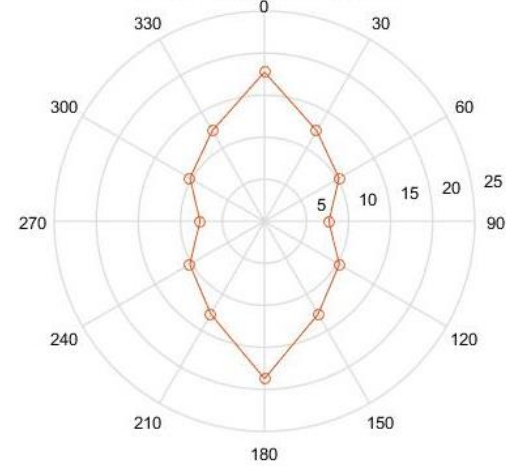
Fonte: O Autor

Figura 95: 10s, IACS Long Crested, Irregular



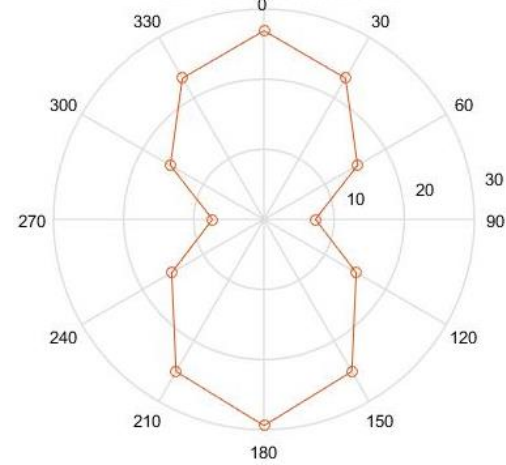
Fonte: O Autor

Figura 98: 10s, IACS Short Crested, Irregular



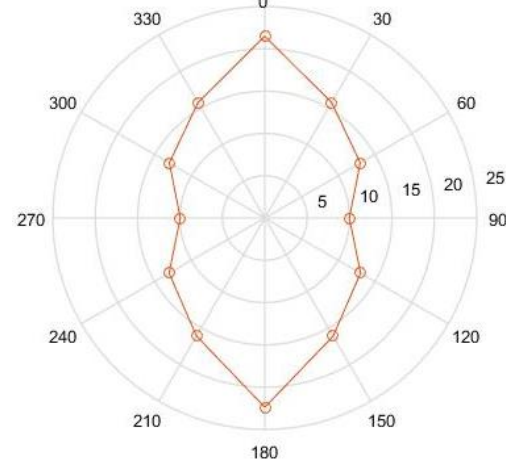
Fonte: O Autor

Figura 96: 12s, IACS Long Crested, Irregular



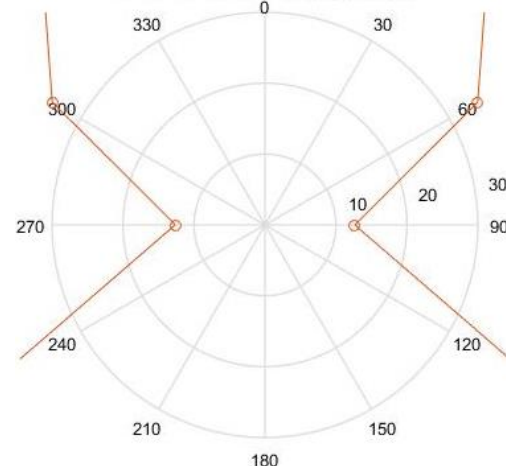
Fonte: O Autor

Figura 99: 12s, IACS Short Crested, Irregular



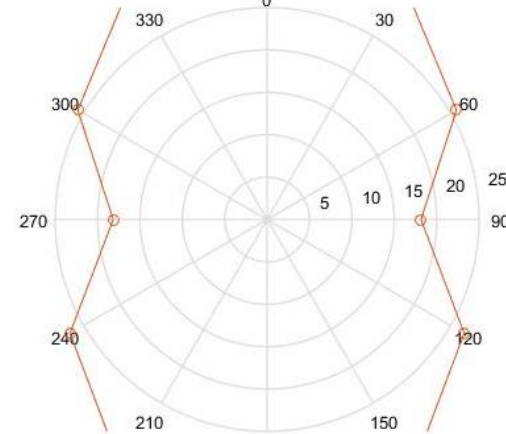
Fonte: O Autor

Figura 97: 4s, JONSWAP Long Crested, Irregular



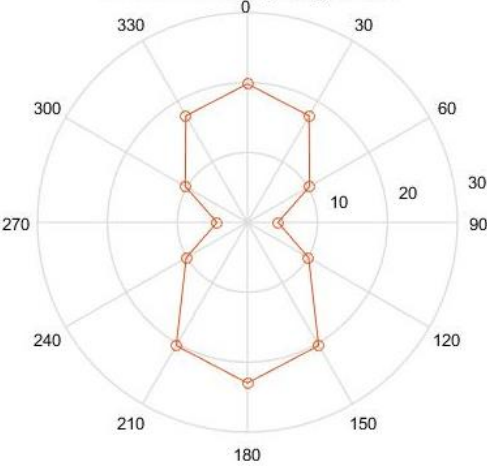
Fonte: O Autor

Figura 100: 4s, JONSWAP Short Crested, Irregular



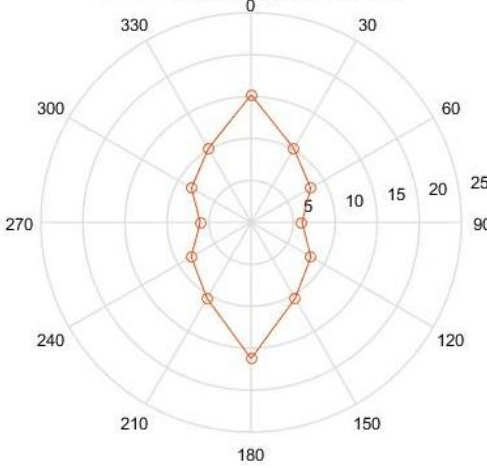
Fonte: O Autor

Figura 101: 8s, JONSWAP Long Crested, Irregular



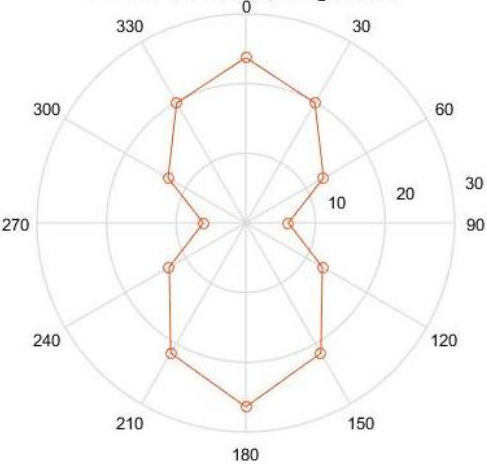
Fonte: O Autor

Figura 104: 8s, JONSWAP Short Crested, Irregular



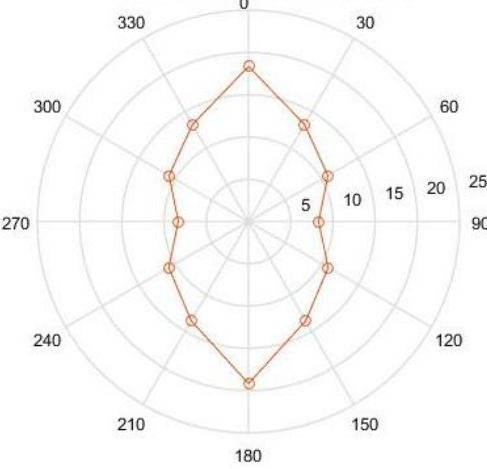
Fonte: O Autor

Figura 102: 10s, JONSWAP Long Crested, Irregular



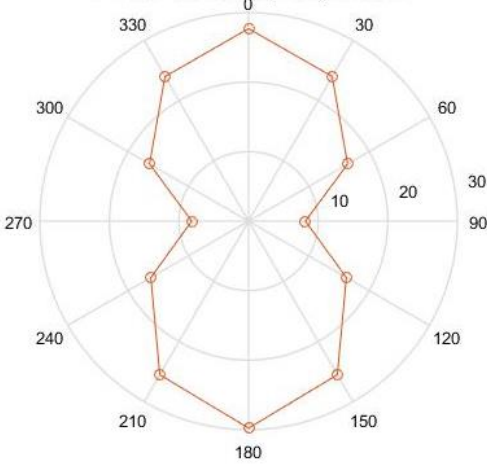
Fonte: O Autor

Figura 105: 10s, JONSWAP Short Crested, Irregular



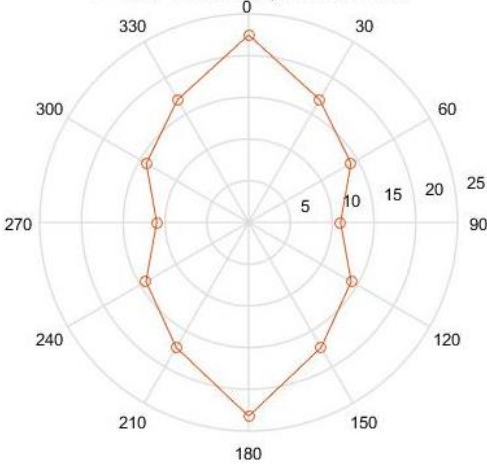
Fonte: O Autor

Figura 103: 12s, JONSWAP Long Crested, Irregular



Fonte: O Autor

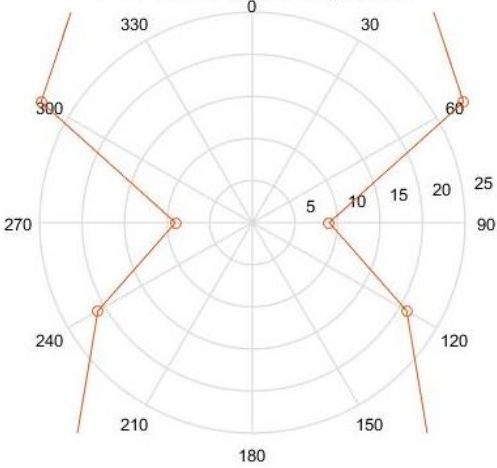
Figura 106: 12s, JONSWAP Short Crested, Irregular



Fonte: O Autor

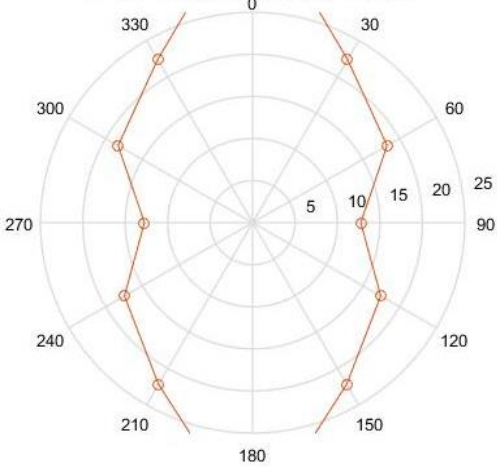
• Retangular Série 60

Figura 107: 4s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60



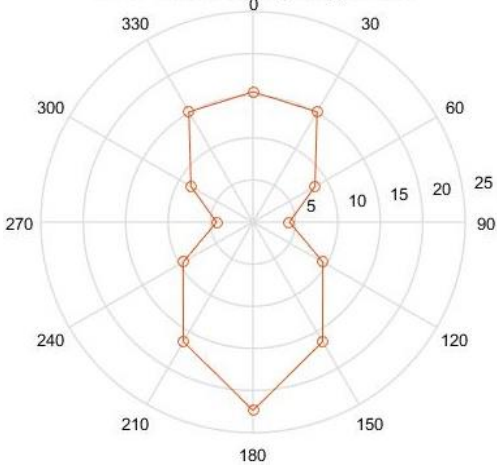
Fonte: O Autor

Figura 110: 4s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60



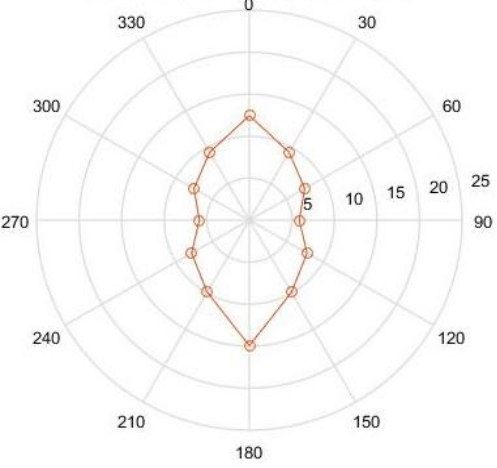
Fonte: O Autor

Figura 108: 8s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60



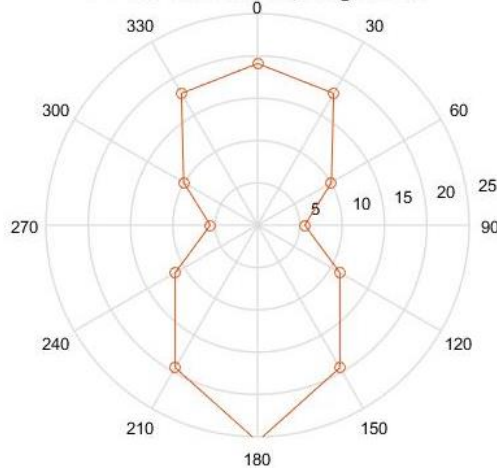
Fonte: O Autor

Figura 111: 8s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60



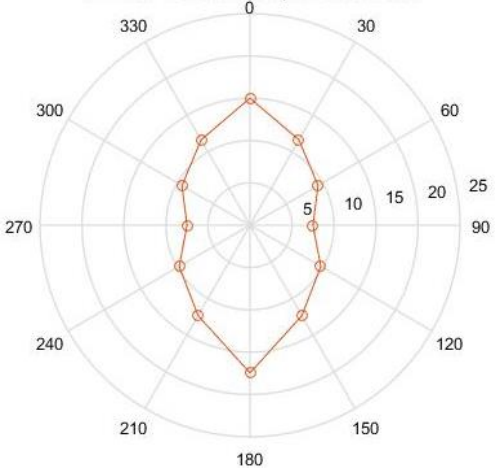
Fonte: O Autor

Figura 109: 10s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60



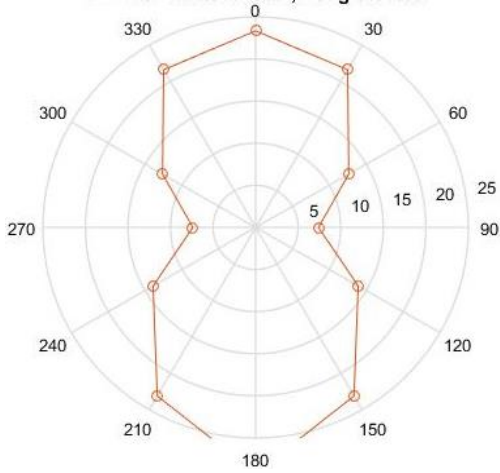
Fonte: O Autor

Figura 112: 10s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60



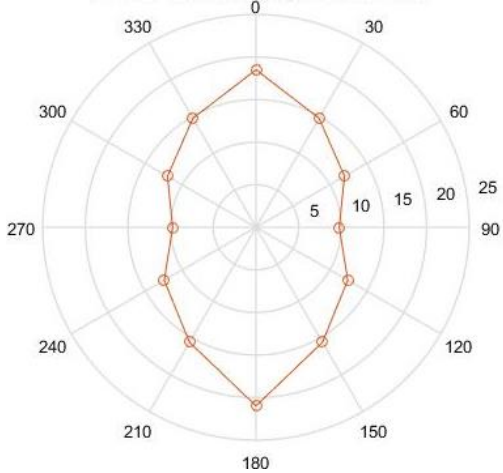
Fonte: O Autor

Figura 113: 12s, Bretchneider Long Crested, Retangular Série 60



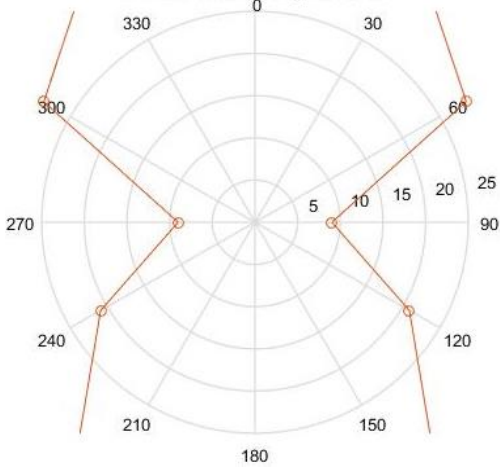
Fonte: O Autor

Figura 116: 12s, Bretchneider Short Crested, Retangular Série 60



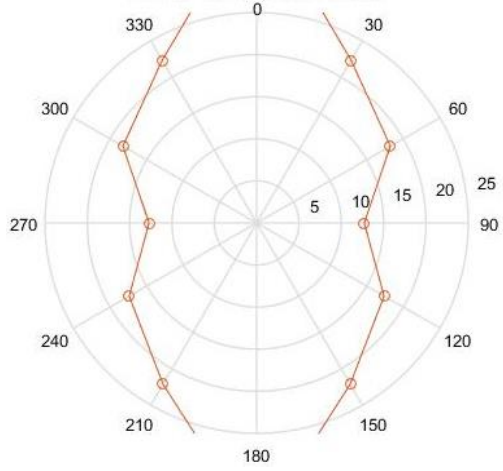
Fonte: O Autor

Figura 114: 4s, IACS Long Crested, Retangular Série 60



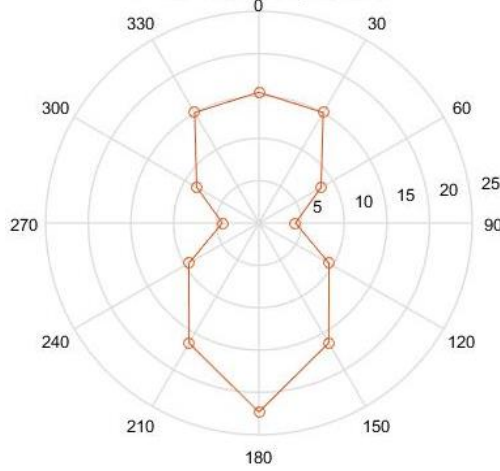
Fonte: O Autor

Figura 117: 4s, IACS Short Crested, Retangular Série 60



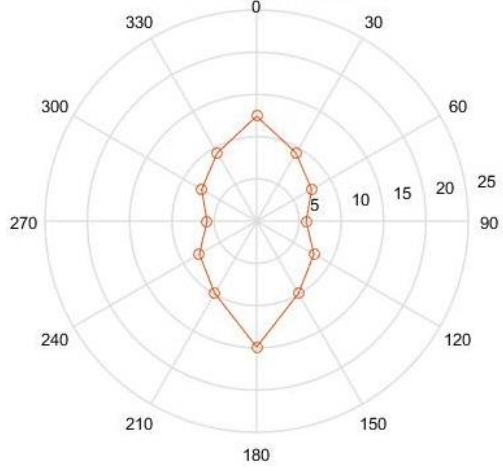
Fonte: O Autor

Figura 115: 8s, IACS Long Crested, Retangular Série 60



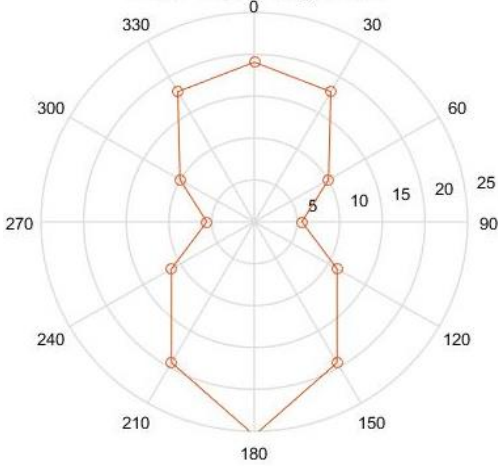
Fonte: O Autor

Figura 118: 8s, IACS Short Crested, Retangular Série 60



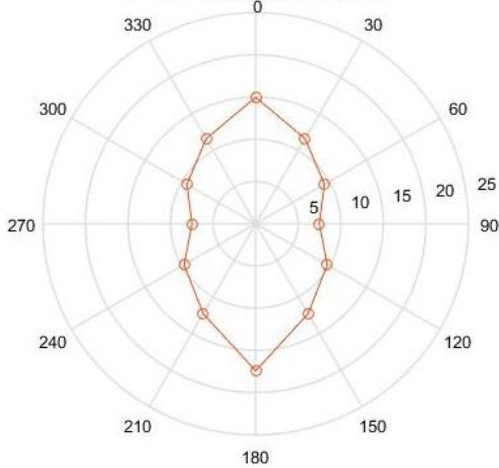
Fonte: O Autor

**Figura 119: 10s, IACS Long Crested, Retangular
Série 60**



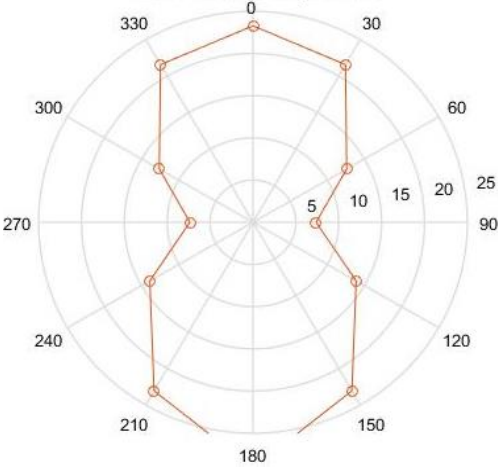
Fonte: O Autor

**Figura 122: 10s, IACS Short Crested, Retangular
Série 60**



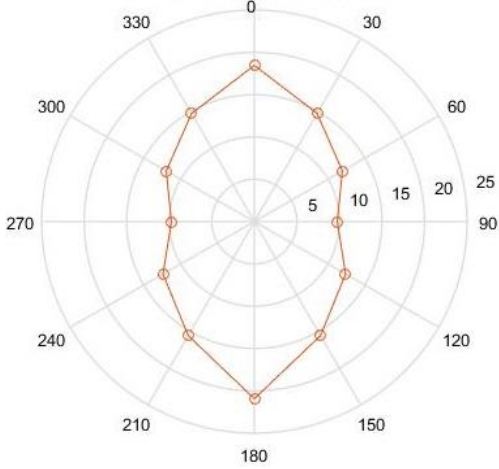
Fonte: O Autor

**Figura 120: 12s, IACS Long Crested, Retangular
Série 60**



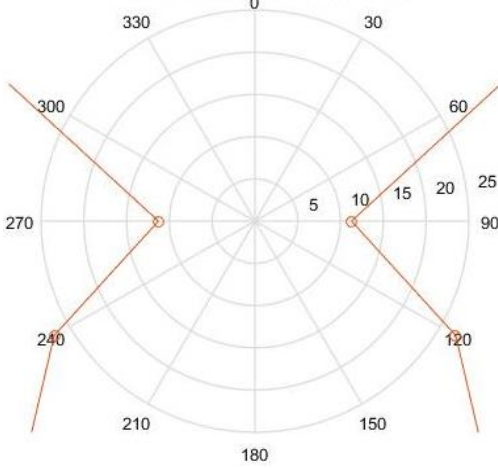
Fonte: O Autor

**Figura 123: 12s, IACS Short Crested, Retangular
Série 60**



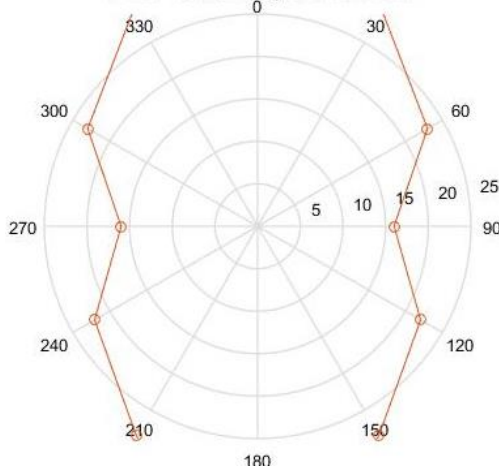
Fonte: O Autor

**Figura 121: 4s, JONSWAP Long Crested,
Retangular Série 60**



Fonte: O Autor

**Figura 124: 4s, JONSWAP Short Crested,
Retangular Série 60**



Fonte: O Autor

Figura 125: 8s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60

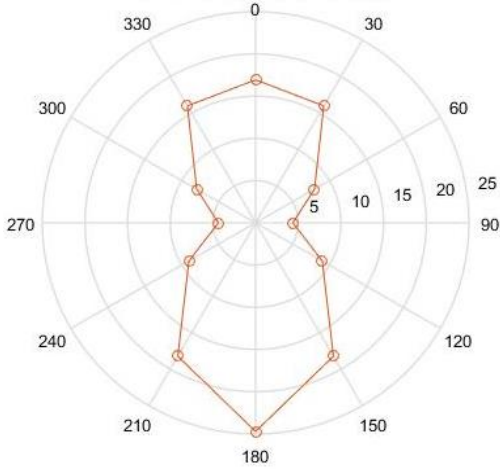


Figura 128: 8s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60

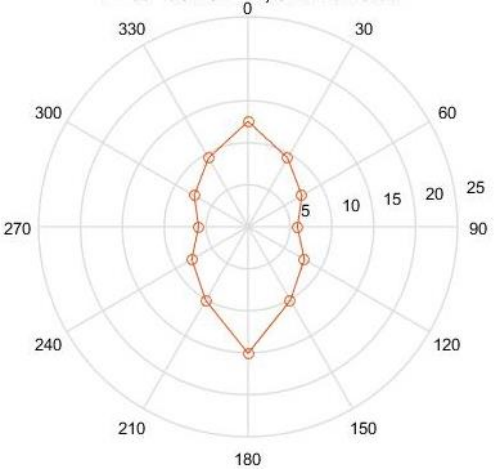


Figura 126: 10s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60

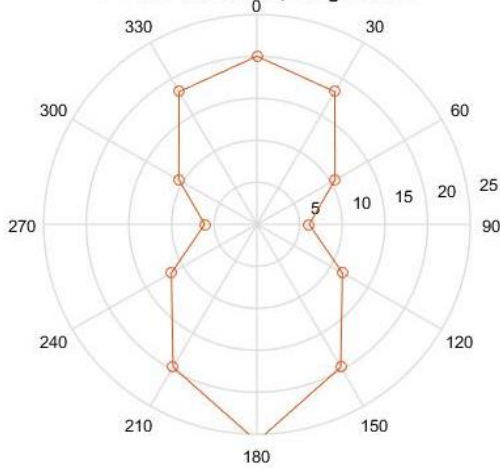


Figura 129: 10s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60

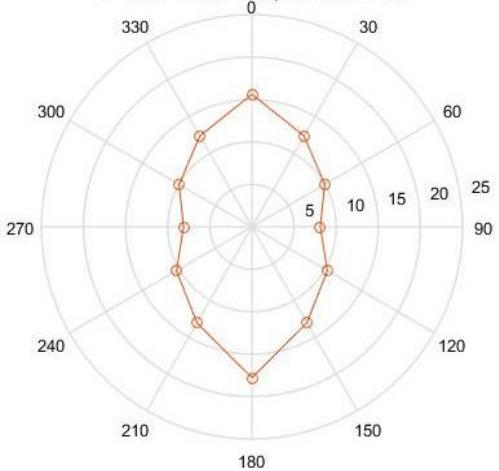


Figura 127: 12s, JONSWAP Long Crested, Retangular Série 60

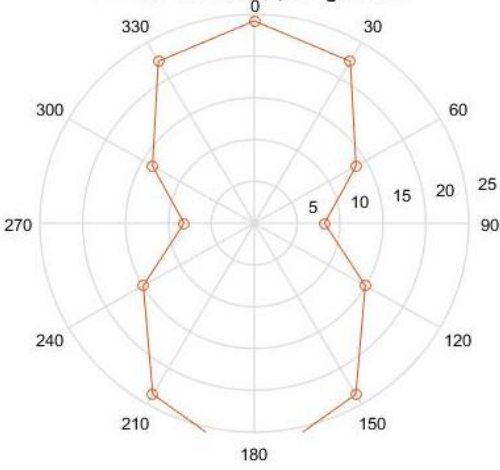
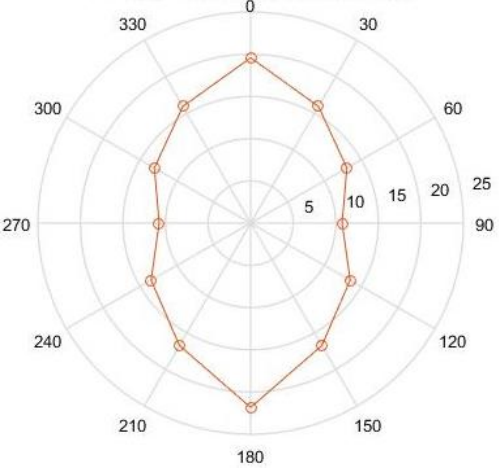
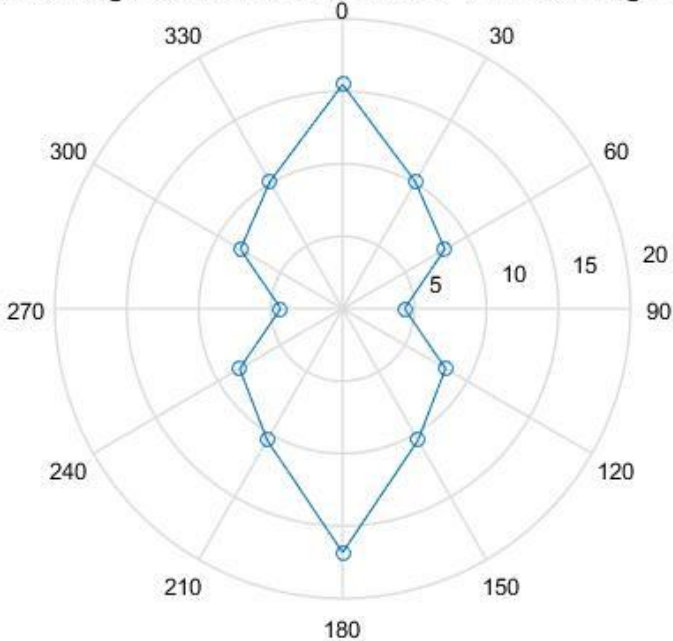


Figura 130: 12s, JONSWAP Short Crested, Retangular Série 60



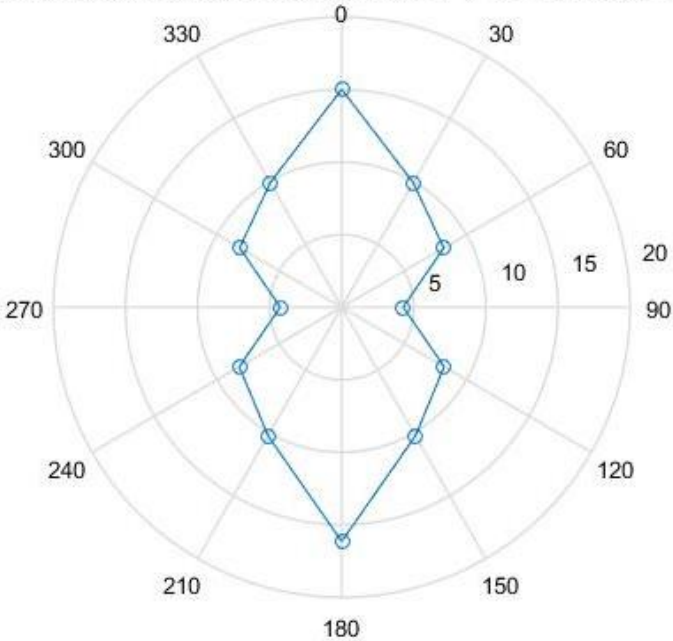
APÊNDICE C – OPERABILIDADE GLOBAL (CINETOSE)

Figura 131: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato oval, casco *drillship*
Maximum Wave Height for VI. Worst case for 4 8 10 12 s Significant Period



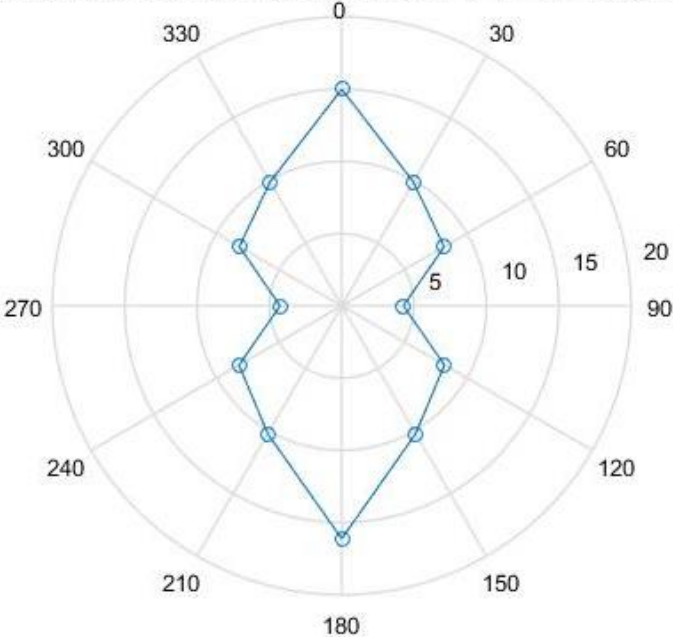
Fonte: O Autor

Figura 132: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato irregular, casco *drillship*
Maximum Wave Height for VI. Worst case for 4 8 10 12 s Significant Period



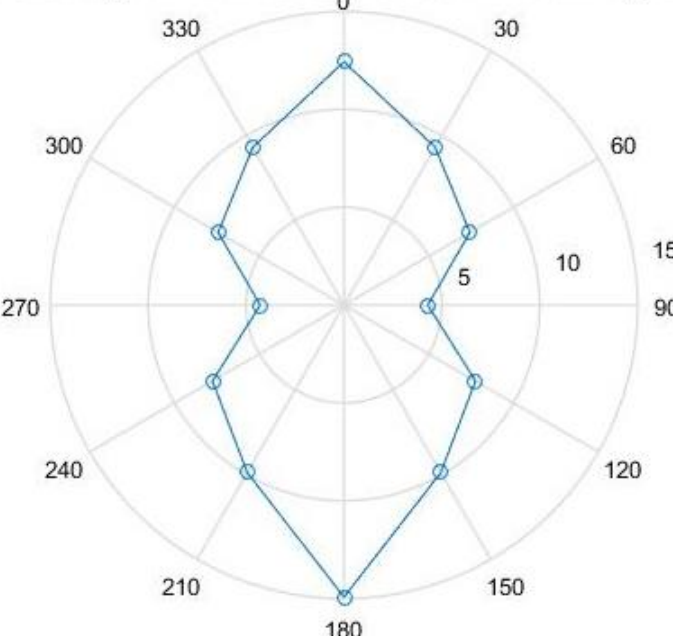
Fonte: O Autor

Figura 133: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato retangular, casco drillship
Maximum Wave Height for VI. Worst case for 4 8 10 12 s Significant Period



Fonte: O Autor

Figura 134: Altura máxima de onda para os piores casos da cinetose, formato retangular, casco série 60
Maximum Wave Height for VI. Worst case for 4 8 10 12 s Significant Period



Fonte: O Autor