

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Engenharia Naval

**Rodrigo Pinto de Castro**

**Determinação de janela operacional de lançamento *S-lay* de duto *offshore***

**Recife**

**2018**

Rodrigo Pinto de Castro

Determinação de janela operacional de lançamento *S-lay* de duto *offshore*

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Naval.

Orientador: Cesar Augusto Salhua Moreno

**Recife**

**2018**

**Rodrigo Pinto de Castro**

**Determinação de janela operacional de lançamento *S-lay* de duto *offshore***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Naval.

Orientador: Cesar Augusto Salhua Moreno

---

Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno  
Doutor/Universidade Federal, de Pernambuco – UFPE  
Orientador

---

Prof. Miguel Angel Celis Carbajal  
Doutor/Universidade Federal, de Pernambuco – UFPE  
Examinador

---

Prof. Adriano Dayvson Marques Ferreira  
Mestre/Universidade Federal, de Pernambuco – UFPE  
Examinador

**Recife, 14 de dezembro de 2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, pelo apoio para que eu pudesse sair da minha cidade natal com o objetivo de progredir nos estudos. Aos professores e colegas do curso de Engenharia Naval, que me incentivaram a sempre buscar mais conhecimento na minha área de formação. Um agradecimento especial ao meu professor orientador Cesar Salhua que, com sua experiência, forneceu conselhos e informações valiosas para que eu pudesse fazer este trabalho.

## RESUMO

Dutos submarinos são importantes meios de transporte de fluidos, amplamente empregados pela indústria do petróleo e gás. Seu projeto é uma tarefa bastante complexa e envolve uma série de atividades, dentre elas o processo de instalação. Atualmente existe uma série de métodos e embarcações com diferentes níveis tecnológicos para atender esta necessidade. Cada embarcação, com suas especificidades, possui um limite que deve ser bem estabelecido e respeitado de modo a preservar a integridade estrutural do duto e dos equipamentos que auxiliam o lançamento. As condições em que uma embarcação lançadora de dutos pode operar é chamada de janela operacional. Este trabalho busca determinar, através da ferramenta computacional *Orcaflex*, a janela operacional de uma barcaça de lançamento *S-lay* de segunda geração, um tipo de embarcação largamente utilizada até os dias atuais.

Palavras-chave: janela operacional; *S-lay*; duto *offshore*; barcaça; lançamento de duto; *Orcaflex*.

## **ABSTRACT**

Subsea pipelines are important means of fluid transportation, widely used by the oil & gas industry. Its project is a very complex task and involves several activities, including the installation process. Currently there are several methods and vessels with different technological levels to meet this need. Each vessel, with its specificities, has a limit that must be well established and respected in order to preserve the structural integrity of the pipeline and the equipment that aid the pipelaying. The conditions under which a pipe layer vessel can operate is called the operational window. This work aims to determine, through the computational tool Orcaflex, the operational window of a second-generation S-lay barge, a type of vessel widely used until the present day.

Keywords: operating window; S-lay; offshore pipeline; barge; pipelay; Orcaflex.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma geral do TCC .....	23
Figura 2 – Tubulações submarinas .....	25
Figura 3 – Desenvolvimento de projeto de duto <i>offshore</i> .....	27
Figura 4 – Configuração <i>S-lay</i> .....	29
Figura 5 – Barcaça de 1ª geração <i>McDermott DB17</i> .....	30
Figura 6 – Barcaça de 2ª geração <i>Castoro 12, Saipem</i> .....	30
Figura 7 – Embarcação de 3ª geração <i>Viking Piper</i> , atual <i>Castoro 7, Saipem</i> .....	31
Figura 8 – Navio de 4ª geração <i>Solitaire, Allseas</i> .....	31
Figura 9 – Configuração <i>J-lay</i> .....	32
Figura 10 – Navio de lançamento <i>J-lay FDS, Saipem</i> .....	33
Figura 11 – Configuração <i>Reel-lay</i> .....	34
Figura 12 – Navio de lançamento <i>Reel-lay Deep Blue, Technip</i> .....	34
Figura 13 – Configurações de reboque .....	35
Figura 14 – Aparato de instalação de duto submarino .....	37
Figura 15 – Idealização de construção de duto utilizando uma barcaça .....	37
Figura 16 – Carretel ( <i>Conundrum</i> ) para armazenamento grandes comprimentos de duto .....	38
Figura 17 – Idealização de configuração de lançamento para águas profundas .....	39
Figura 18 – Parâmetros que definem uma onda regular bidimensional .....	41
Figura 19 – Regiões de validade para as teorias de ondas .....	43
Figura 20 – Representação nos domínios do tempo e da frequência para ondas irregulares .....	44
Figura 21 – Parâmetros de definição da catenária.....	47
Figura 22 – Parâmetros para catenária com reserva de restauração .....	49
Figura 23 – Interface do <i>software Ansys Aqwa</i> .....	50
Figura 24 – Direção de incidência de um trem de ondas .....	51
Figura 25 – Representação cartesiana da função <i>Hf</i> para uma direção de incidência fixa. A forma apresentada por <i>Hf</i> nesta figura é apenas ilustrativa.....	52

Figura 26 – a) Vista tridimensional do gráfico cartesiano; b) Vista superior do gráfico cartesiano; c) Vista tridimensional do gráfico polar; d) Vista superior do gráfico polar...	53
Figura 27 – Redução na tensão de escoamento em função da temperatura .....	56
Figura 28 – Vista em perspectiva da barcaça de segunda geração <i>Bisso Super Chief</i> .	58
Figura 29 – <i>Stinger</i> na proa da embarcação <i>Audacia, Allseas</i> .....	59
Figura 30 – Roletes dos suportes do <i>stinger</i> .....	59
Figura 31 – Tracionador de tubulação.....	60
Figura 32 – Guincho de tambor duplo .....	61
Figura 33 – Mecanismo de deslocamento da barcaça .....	61
Figura 34 – Âncora do tipo <i>delta flipper</i> .....	62
Figura 35 – Interface do <i>software Orcaflex</i> .....	63
Figura 36 – Barcaça de segunda geração deste trabalho.....	65
Figura 37 – Vistas de perfil e planta da barcaça .....	65
Figura 38 – Arranjo geral do casco da barcaça.....	66
Figura 39 – Modelo CAD 3D do casco da barcaça feito no <i>Rhinoceros</i> .....	66
Figura 40 – Suportes do <i>stinger</i> .....	68
Figura 41 – Suportes de rolete duplo .....	68
Figura 42 – Geometria do <i>stinger</i> e intervalo de raios de curvatura.....	69
Figura 43 – Cabo de aço 6x19 com alma de fibra .....	70
Figura 44 – Intervalos de aplicação dos critérios da DNVGL .....	72
Figura 45 – Sistema de coordenadas da barcaça .....	72
Figura 46 – Configuração referencial – vista de perfil .....	73
Figura 47 – Configuração referencial – vista de planta .....	73
Figura 48 – Malha da barcaça para análise hidrodinâmica .....	75
Figura 49 – Vistas de perfil e de planta do modelo <i>Orcaflex</i> .....	75
Figura 50 – Duto no modelo <i>Orcaflex</i> .....	76
Figura 51 – Sistema de ancoragem no modelo <i>Orcaflex</i> .....	76
Figura 52 – Visão tridimensional do modelo <i>Orcaflex</i> .....	77
Figura 53 – Fluxograma da análise estática.....	80
Figura 54 – Fluxograma da análise quase-dinâmica.....	84
Figura 55 – Intervalo de deslocamento da barcaça.....	85

Figura 56 – Diagrama de corpo livre da barcaça no plano horizontal xy .....	86
Figura 57 – Fluxograma da análise quase-estática .....	88
Figura 58 – Fluxograma da análise dinâmica .....	90
Figura 59 – RAO de <i>heave</i> para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de 90° .....	92
Figura 60 – RAO de <i>heave</i> para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de 180° .....	93
Figura 61 – RAO de <i>sway</i> para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de 90° .....	93
Figura 62 – Convergência de malha para o ponto em S = 0 m .....	94
Figura 63 – Convergência de malha para o ponto em S = 300 m .....	95
Figura 64 – Convergência de malha para o ponto em S = 45,5 m .....	95
Figura 65 – Divisão de malhas do duto .....	96
Figura 66 – Vista de perfil de uma configuração em análise estática e o valor da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador .....	96
Figura 67 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise estática .....	97
Figura 68 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise estática .....	98
Figura 69 – Valor máximo de tensão normalizada para cada raio de <i>stinger</i> em função da tração. A área em destaque representa a região de aprovação segundo os critérios de tensão e tração. A legenda apresenta os valores de raio do <i>stinger</i> .....	99
Figura 70 – Valor máximo de deformação normalizada para cada raio de <i>stinger</i> em função da tração. A área em destaque representa a região de aprovação segundo os critérios de deformação e tração. A legenda apresenta os valores de raio do <i>stinger</i> ...	99
Figura 71 – Comportamento da relação entre duto e <i>stinger</i> com o aumento da tração .....	100
Figura 72 – Configurações aprovadas na análise estática e seus valores de tensão e tração .....	101
Figura 73 – Configurações aprovadas na análise estática e seus valores de deformação e tração .....	101

Figura 74 – Vista de perfil de uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular .....	102
Figura 75 – Gráfico da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador no domínio do tempo. Resultado para um período de onda de 4 s .....	102
Figura 76 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular .....	103
Figura 77 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular .....	103
Figura 78 – Valor de <i>vjanela</i> para cada uma das configurações aprovadas na análise estática. A legenda apresenta os valores de raio do <i>stinger</i> .....	104
Figura 79 – As cinco melhores configurações escolhidas na análise quase-dinâmica em onda regular .....	105
Figura 80 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-dinâmica em onda regular .....	106
Figura 81 – Movimentos em <i>roll</i> e <i>heave</i> para uma incidência de 90° de onda regular de altura 4 m e período 5 s .....	107
Figura 82 – Movimentos em <i>roll</i> e <i>heave</i> para uma incidência de 270° de onda regular de altura 4 m e período 5 s .....	107
Figura 83 – Vista de perfil de uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular .....	108
Figura 84 – Gráfico da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador no domínio do tempo .....	108
Figura 85 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular .....	109
Figura 86 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular .....	109

Figura 87 – Gráfico com comparação entre as janelas de cada uma das configurações, em análises quase-dinâmicas em onda regular e irregular. ....	110
Figura 88 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-dinâmica em onda irregular .....	111
Figura 89 – Resultado da análise quase-estática para vários valores de tração mínima. Resultado da análise quase-dinâmica para comparação .....	112
Figura 90 – Máximo valor da componente vertical da força no anete da âncora em função do deslocamento da barça. Alguns valores ultrapassam o limite admissível, mas percebe-se que se trata de erro numérico (valores muito pequenos) .....	112
Figura 91 – Máximo valor da tração no <i>fairlead</i> em função do deslocamento da barça .....	113
Figura 92 – Máximo valor do comprimento de cabo em função do deslocamento da barça .....	113
Figura 93 – <i>Zoom</i> da Figura 89. Destaque na posição em $x = 60$ m.....	114
Figura 94 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-estática, para uma tração mínima de 5kN.....	114
Figura 95 – Vista de perfil de uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular .....	115
Figura 96 – Tração na extremidade do duto ligada ao tracionador .....	115
Figura 97 – Tração na extremidade ligada ao <i>fairlead</i> de um dos cabos de ancoragem .....	116
Figura 98 – Tração na extremidade conectada ao anete da âncora de um dos cabos de ancoragem. Os valores são negativos, pois representam a força na extremidade do cabo e não no anete da âncora .....	116
Figura 99 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise dinâmica em onda irregular	117
Figura 100 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise dinâmica em onda irregular	117
Figura 101 – Influência da tração mínima na máxima altura significativa permitida.....	118
Figura 102 – Deslocamento em <i>surge</i> para trações mínimas de 5 e 25 kN.....	119
Figura 103 – Deslocamento em <i>sway</i> para trações mínimas de 5 e 25 kN.....	120

Figura 104 – Deslocamento em <i>yaw</i> para trações mínimas de 5 e 25 kN .....	120
Figura 105 – Comparação entre as análises para a configuração B, na direção de incidência de 210° .....	121
Figura 106 – Flutuador para instalação de dutos <i>offshore</i> .....	122
Figura 107 – Dimensões dos suportes e respectiva visualização 3D gerada no <i>Orcaflex</i> .....	156

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das ondas quanto à profundidade .....	42
Tabela 2 – Fator de resistência do material .....	56
Tabela 3 – Critério simplificado <i>overbend</i> .....	57
Tabela 4 – Dimensões principais da barçaça .....	66
Tabela 5 – Estimativa dos raios de giração da inércia de massa .....	67
Tabela 6 – Estimativa do VCG .....	68
Tabela 7 – Parâmetros da malha .....	74
Tabela 8 – Parâmetros do cálculo numérico executado pelo <i>Orcaflex</i> .....	77
Tabela 9 – Alturas e períodos para análise quase-dinâmica em onda regular.....	82
Tabela 10 – Avaliação da estabilidade intacta da barçaça.....	91
Tabela 11 – Períodos naturais da barçaça.....	93
Tabela 12 – Configurações selecionadas e valores de tração estática .....	105
Tabela 13 – Deriva média .....	119
Tabela 14 – Amplitude média dos movimentos.....	119
Tabela 15 – Propriedades mecânicas dos graus de aço conforme a API 5L .....	155
Tabela 16 – Origem do caminho onde estão posicionados todos os suportes. Coordenadas em relação ao sistema da barçaça .....	156
Tabela 17 – Definição geométrica do caminho e posição dos suportes.....	157
Tabela 18 – Coordenadas das extremidades do duto ligada ao tracionador (A) e ancorada (B), em relação ao sistema de coordenadas da barçaça .....	158
Tabela 19 – Coordenadas dos pontos dos <i>fairleads</i> e pontos de ancoragem da configuração referencial, em relação ao sistema de coordenadas da barçaça.....	159
Tabela 20 – Casos utilizados para avaliação do código em <i>Matlab</i> .....	163
Tabela 21 – Comparação <i>Matlab</i> x <i>Orcaflex</i> para o caso 1 .....	164
Tabela 22 – Comparação <i>Matlab</i> x <i>Orcaflex</i> para o caso 2 .....	164

## LISTA DE SÍMBOLOS

a ou A – massa ou inércia adicional

A# – pontos de ancoragem

B – boca da embarcação

b ou B – amortecimento

c ou C – restauração

D – pontal da embarcação

E – módulo de elasticidade

F – força externa introduzida pela onda

F# - pontos de *fairlead*

f – frequência da onda em Hz

F<sub>dmx</sub> – força de deriva média em *surge*

F<sub>dmy</sub> – força de deriva média em *sway*

f<sub>p</sub> – frequência de pico do espectro de onda irregular

f<sub>y</sub> – tensão de escoamento corrigida

f<sub>y,temp</sub> – redução da tensão de escoamento devido ao efeito da temperatura

g – aceleração da gravidade g

GMT – altura metacêntrica

GZ – braço de momento de restauração em estabilidade transversal

H – altura da onda

h – profundidade do mar

HB – altura de quebra da onda

H<sub>f</sub> – fronteira da janela operacional

H<sub>s</sub> – altura significativa do espectro de onda irregular

k – número de onda

k<sub>xx</sub> – raio de giração da inércia de massa no eixo x

k<sub>yy</sub> – raio de giração da inércia de massa no eixo y

k<sub>zz</sub> – raio de giração da inércia de massa no eixo z

L – comprimento da embarcação

LCG – posição longitudinal do centro de gravidade

Lmalha – tamanho do elemento de malha  
Lmin – menor tamanho de elemento de malha  
m ou M – massa ou inércia  
Mdmz – momento de deriva média em *yaw*  
Mz – momento atuante na barcaça em torno do eixo z  
S – comprimento do duto ou cabo de ancoragem  
S( $\omega$ ) – espectro de onda  
S0 – extensão horizontal da porção de linha de ancoragem que repousa no leito marinho  
Sx – extensão horizontal da linha de ancoragem  
Sy – extensão vertical da linha de ancoragem  
T – período da onda  
T0 – menor período de onda no intervalo analisado  
T1 – maior período de onda no intervalo analisado  
TCG – posição transversal do centro de gravidade  
Td – força horizontal aplicada pelo duto na barcaça  
Td – força horizontal resultante do duto na barcaça  
Th# - força horizontal aplicada pela linha de ancoragem na barcaça  
Th,x – força atuante na barcaça na direção do eixo x  
Th,y – força atuante na barcaça na direção do eixo y  
Tmax – valor horizontal máximo da força aplicada pela linha de ancoragem na barcaça  
Tmin – valor horizontal mínimo da força aplicada pela linha de ancoragem na barcaça  
Tx – componente horizontal da tração na linha de ancoragem  
Ty – componente vertical da tração na linha de ancoragem  
VCG – posição vertical do centro de gravidade  
w – peso linear do cabo de ancoragem  
 $\alpha_0$  – ângulo entre a horizontal e a força aplicada no anete da âncora  
 $\alpha_U$  – fator de resistência do material  
 $\Delta T$  – variação do período no intervalo analisado  
 $\Delta \mu$  – variação da direção de incidência no intervalo analisado  
 $\epsilon_{eq}$  – deformação equivalente (Von Mises)

$\zeta_a$  – amplitude da onda  
 $\lambda$  – comprimento de onda  
 $\mu$  – direção de incidência da onda  
 $\mu_0$  – menor direção de incidência do intervalo analisado  
 $\mu_1$  – maior direção de incidência do intervalo analisado  
 $\xi$  – deslocamento da embarcação  
 $\xi_a$  – amplitude do deslocamento da embarcação  
 $\rho$  – massa específica  
 $\sigma_{eq}$  – tensão equivalente (Von Mises)  
 $\omega$  – frequência da onda em rad/s  
 $\omega_0$  – frequência natural da embarcação em rad/s

## LISTA DE ABREVIATURAS

API – *American Petroleum Institute*  
CAD – desenho assistido por computador (*computer aided design*)  
CAPEX – despesas de capital (*capital expenditure*)  
DNV-GL – *Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd*  
DP – posicionamento dinâmico (*dynamic positioning*)  
FDS – *field development ship*  
IMO – Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization*)  
ISSC – Congresso Internacional de Estruturas Navais e Offshore (*International Ship and Offshore Structures Congress*)  
ITTC – Conferência Internacional dos Tanques de Reboque (*international towing tank conference*)  
MEF ou FEM – método dos elementos finitos (*finite element method*)  
MSC – comitê de segurança marítima (*maritime safety committee*)  
OPEX – despesas operacionais (*operational expenditure*)  
PSL – nível de especificação do produto (*product specification level*)  
QTF – função de transferência quadrática (*quadratic transfer function*)  
RAO – operador de resposta de amplitude (*amplitude response operator*)

SMYS – tensão de escoamento (*specified minimum yield stress*)

TCC – trabalho de conclusão de curso

TDP – ponto de primeiro contato com o leito marinho (*touch down point*)

## SUMÁRIO

Introdução .....	21
1 Objetivos .....	22
1.1 Objetivos gerais.....	22
1.2 Objetivos específicos.....	22
2 Fundamentação teórica .....	24
2.1 Dutos <i>offshore</i> .....	24
2.2 Projeto de dutos <i>offshore</i> .....	25
2.2.1 Projeto através de análise computacional.....	26
2.3 Instalação de dutos .....	28
2.3.1 Lançamento por embarcação de construção .....	28
2.3.1.1 Técnica S-lay .....	28
2.3.1.2 Técnica J-lay.....	32
2.3.2 Técnica Reel-lay.....	33
2.3.3 Reboque.....	35
2.4 Análise de instalação de duto offshore.....	36
2.5 Revisão histórica e bibliográfica .....	36
2.6 <i>Seakeeping</i> .....	41
2.6.1 Teoria das ondas.....	41
2.6.2 Dinâmica do sistema flutuante .....	45
2.7 <i>Stationkeeping</i> .....	46
2.7.1 Sistemas de ancoragem.....	46
2.7.2 Forças e momentos de deriva média .....	49
2.8 Aqwa .....	50
2.9 Janela operacional .....	51

2.10	Integridade estrutural .....	53
2.10.1	API 5L.....	54
2.10.2	DNVGL-ST-F101 .....	55
2.10.2.1	Resistência do material.....	55
2.10.2.2	Redução da tensão de escoamento (fy,temp) .....	55
2.10.2.3	Fator de resistência do material $\alpha U$ .....	56
2.10.2.4	Critério simplificado de lançamento .....	57
2.11	Barcaças de lançamento <i>S-lay</i> 2ª geração .....	57
2.11.1	Stinger e suportes .....	58
2.11.2	Tracionador .....	59
2.11.3	Guincho, cabo e âncora .....	60
2.12	Método dos elementos finitos.....	62
2.13	Orcaflex.....	63
3	Metodologia.....	64
3.1	Dados do projeto da barcaça .....	64
3.1.1	Casco .....	65
3.1.2	Propriedades de massa.....	67
3.1.2.1	Inércia de massa.....	67
3.1.2.2	Centro de gravidade .....	67
3.1.3	Stinger e suportes .....	68
3.1.4	Tracionador .....	69
3.1.5	Guincho, cabo e âncora .....	69
3.2	Propriedades do duto .....	70
3.3	Condições operacionais .....	70
3.3.1	Condições ambientais .....	70

3.3.2	Critérios DNVGL.....	71
3.4	Configuração referencial .....	72
3.5	Pré-análise .....	74
3.5.1	Estabilidade intacta .....	74
3.5.2	Análise hidrodinâmica .....	74
3.5.3	Modelo Orcaflex .....	75
3.5.4	Teste de convergência de malha do duto.....	77
3.6	Análise estática .....	78
3.7	Análise quase-dinâmica .....	81
3.7.1	Análise quase-dinâmica em onda regular .....	81
3.7.2	Análise quase-dinâmica em onda irregular .....	83
3.8	Análise quase-estática .....	85
3.9	Análise dinâmica .....	89
4	Resultados .....	91
4.1	Estabilidade intacta .....	91
4.2	Análise hidrodinâmica .....	91
4.2.1	RAO's de movimento.....	92
4.2.2	Períodos naturais .....	93
4.3	Teste de convergência de malha do duto.....	94
4.4	Análise estática .....	96
4.5	Análise quase-dinâmica .....	101
4.5.1	Análise quase-dinâmica em onda regular .....	102
4.5.2	Análise quase-dinâmica em onda irregular .....	107
4.6	Análise quase-estática .....	111
4.7	Análise dinâmica .....	115

5	Discussão dos resultados .....	121
6	Conclusão .....	123
6.1	Recomendações para trabalhos futuros.....	124
7	Referências.....	126
8	Apêndice .....	129
8.1	Dados hidrodinâmicos .....	129
8.1.1	Massa adicional.....	130
8.1.2	Amortecimentos .....	132
8.1.3	RAO.....	134
8.1.4	Froud-Krylov + Difração .....	141
8.1.5	QTF .....	148
8.2	Materiais API 5L.....	155
8.3	Posição dos suportes do <i>stinger</i> e da barcaça.....	156
8.4	Configuração referencial .....	158
8.5	Código em linguagem <i>Matlab</i> para otimização do sistema de ancoragem.. .....	160
8.5.1	Verificação dos resultados do Matlab no Orcaflex .....	163

## INTRODUÇÃO

Quando o lugar onde um bem é consumido fica distante de onde ele é produzido, existe a necessidade do seu transporte. Na indústria do petróleo e gás, as tubulações entram como um elemento essencial para a movimentação de fluidos que fazem parte do processo produtivo. Este trabalho dá destaque para uma classe particular de tubulação que fica submersa, deitada em leito marinho, e tem o objetivo de transportar fluidos de processo (petróleo ou gás) ou de utilidades (fluidos auxiliares) entre as plataformas de produção e o continente. A questão central tratada neste relatório é: como essas tubulações são posicionadas no fundo do mar com segurança?

Dutos *offshore* (termo que será bastante utilizado para se referir a tubulações submarinas adotadas na indústria de petróleo e gás *offshore*) são instalados no fundo do mar de diversas formas. Algumas técnicas envolvem a adoção de embarcações que constroem o duto enquanto lançam-no ao mar. Outras já fabricam o duto em terra e a embarcação se encarrega da instalação. Independentemente do método, as condições ambientais (ondas, corrente, vento, profundidade, relevo do leito marinho, etc) aumentam a dificuldade da operação de instalação. Uma das formas de descobrir a viabilidade desde tipo de procedimento é encontrar, na fase de projeto, os limites operacionais, isto é, o pior estado de mar em que o duto pode ser instalado, a maior profundidade, o pior relevo, etc.

As barreiras que limitam a viabilidade das operações de lançamento de dutos *offshore* têm sido constantemente ultrapassadas, motivadas pela exploração de petróleo e gás em águas cada vez mais profundas. Este avanço é alcançado, por exemplo, com a criação de embarcações mais modernas, com novas tecnologias de instalação, e tubos com materiais mais resistentes. Entretanto, as tecnologias mais antigas ainda são bastante utilizadas, como é o caso de balsas de construção, geralmente empregadas em águas rasas, e que necessitam do sistema de ancoragem para se locomoverem. Este trabalho investiga o lançamento de um duto *offshore* feito por uma destas barcas, estudando o comportamento de sua janela operacional em vários níveis de análise.

## 1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são esclarecidos abaixo em termos de objetivos gerais e específicos.

### 1.1 Objetivos gerais

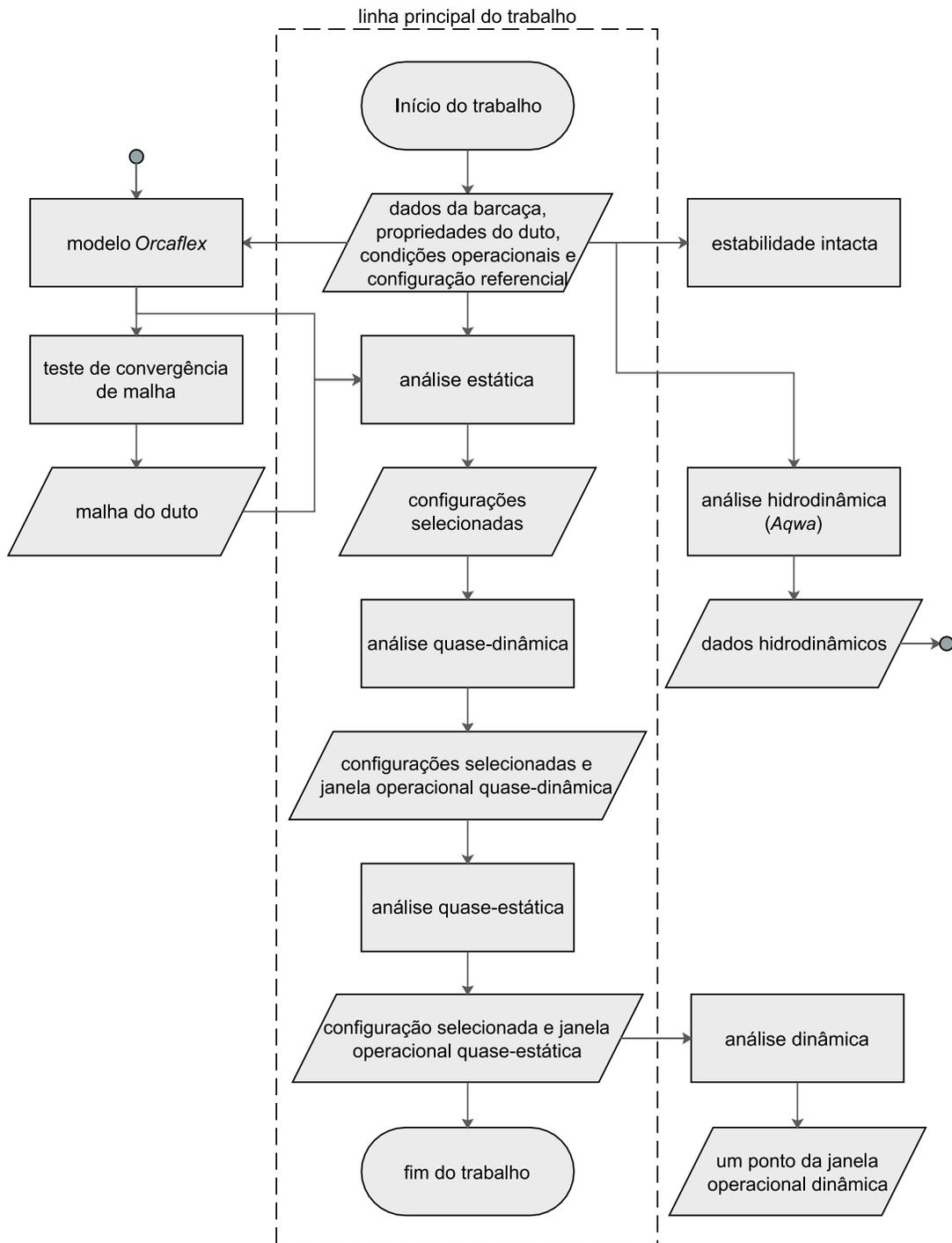
O propósito deste trabalho de conclusão de curso é definir a janela operacional para o lançamento de um duto submarino de 12,75" de diâmetro, feito por barçaça *S-lay* de segunda geração, em águas de profundidade de 150 m, condições consideradas limites para este tipo de embarcação. Os dados de entrada para as análises são as informações dos projetos de três barçaças da Savia Peru, fornecidas pelo orientador, as propriedades do duto, as condições operacionais e a configuração referencial.

### 1.2 Objetivos específicos

O objetivo geral é dividido nos seguintes objetivos específicos, conforme apresenta o fluxograma da Figura 1.

- Obter o resultado de estabilidade intacta da barçaça;
- Obter coeficientes e forças hidrodinâmicos da barçaça;
- Obter malha adequada para o duto;
- Obter as melhores configurações de lançamento através da análise estática;
- Obter as melhores configurações e janela operacional utilizando análise quase-dinâmica;
- Obter a melhor configuração e janela operacional utilizando análise quase-estática;
- Obter um ponto da janela operacional utilizando análise dinâmica.

Figura 1 – Fluxograma geral do TCC



Fonte: autor

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A humanidade necessita transportar fluidos de um lugar para outro. Alguns precisam ser movidos em grandes quantidades e por longas distâncias, como é o caso do petróleo e do gás natural. Para isso, três métodos principais são adotados. O primeiro método consiste em armazenar o fluido em um tanque, deslocá-lo para o local onde o fluido é desejado e esvaziar o tanque. A segunda maneira é construir uma tubulação de onde o fluido está até o seu destino e bombeá-lo ao longo da tubulação. O terceiro método, algumas vezes utilizado em combinação com os outros dois, é transformar o fluido em sólido ou em outro fluido cujo transporte é mais vantajoso (PALMER, ANDREW C.; KING, 2006).

A opção de utilizar um tanque é mais flexível e geralmente possui menor custo de investimento. A tubulação é relativamente inflexível, é um ativo fixo e com maior capital aplicado. Entretanto, uma vez instalada a tubulação, os seus custos de operação e manutenção são relativamente menores e a tubulação tem uma vida útil de 40 anos ou mais (PALMER, ANDREW C.; KING, 2006). A escolha do método mais adequado deve levar em consideração a quantidade de fluido a ser transportada e a distância a ser percorrida.

Quando se trata do transporte de fluidos entre dois pontos separados pelo mar, a indústria do petróleo e gás utiliza o primeiro método, através de navios-tanques, para mover grandes quantidades dos seus produtos em escala global. O segundo método, que consiste nos dutos *offshore*, carrega os produtos e recursos da exploração submarina entre o topo dos reservatórios e as plataformas e entre as plataformas e o continente. A partir de agora, é tratado com mais detalhes o assunto de dutos *offshore*.

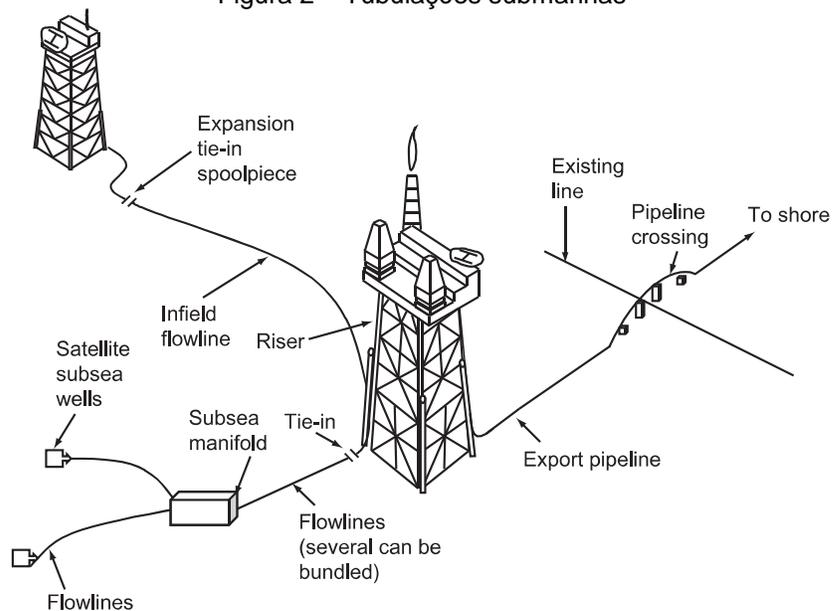
### 2.1 Dutos *offshore*

Dutos *offshore*, ou tubulações submarinas, são utilizados para diversos propósitos na exploração de hidrocarbonetos no mar, como mostra a Figura 2, e podem ser classificados da seguinte maneira (GUO *et al.*, 2014):

- Linhas de escoamento que transportam petróleo e/ou gás de poços periféricos para os *manifolds*;
- Linhas de escoamento que transportam petróleo e/ou gás dos *manifolds* para as plataformas de produção;

- Linhas de escoamento internas que transportam petróleo e/ou gás entre plataformas de produção;
- Linhas de exportação que transportam petróleo e/ou gás das plataformas de produção para o continente;
- Linhas de escoamento que transportam água e químicos das plataformas de produção, através de *manifolds*, para a cabeça dos poços.

Figura 2 – Tubulações submarinas



Fonte: GUO *et al.* (2014)

## 2.2 Projeto de dutos *offshore*

As fases de projeto de cada uma das classes listadas acima é, de modo geral, o mesmo. O projeto de um duto *offshore* geralmente é dividido em três fases: projeto conceitual, projeto preliminar e projeto de detalhamento. Durante a fase conceitual, problemas de inviabilidade técnica e restrições no projeto e construção são levantados. Potenciais dificuldades são reveladas e opções inviáveis são descartadas. O resultado do projeto conceitual permite a elaboração de um cronograma de desenvolvimento e uma estimativa inicial dos custos associados. O projeto preliminar define um sistema básico (diâmetro e material do duto), prepara documentos legais, e fornece detalhes de projeto suficientes para permitir a encomenda dos tubos. Na etapa de detalhamento, o projeto está

suficientemente completo para definir as entradas técnicas para todas as compras e orçamentos de construção (GUO *et al.*, 2014).

A finalidade do desenvolvimento do projeto para um duto é determinar, baseando-se em parâmetros operacionais fornecidos, o seu dimensionamento ótimo. Esse dimensionamento inclui (BAI, 2014):

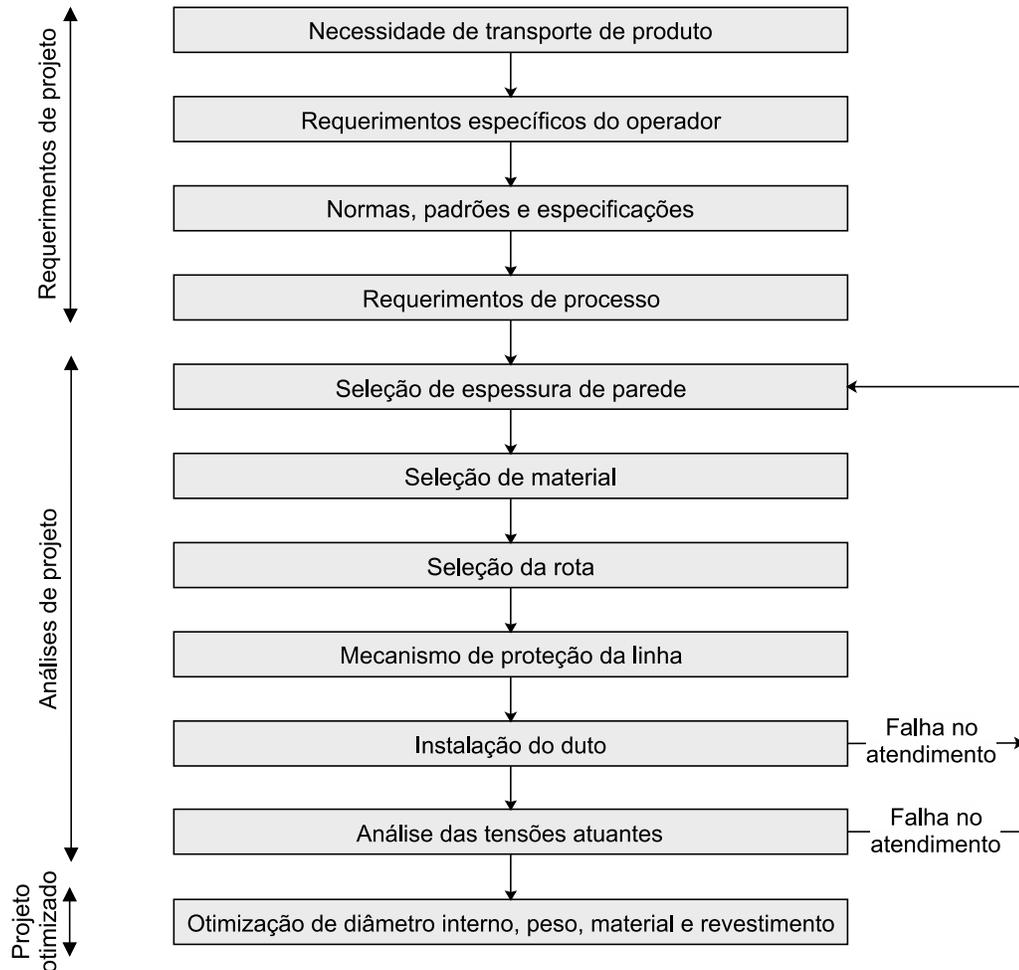
- Diâmetro nominal;
- Espessura de parede;
- Material;
- Tipo de revestimento para incremento de peso e proteção anticorrosiva (se necessária);
- Espessura do revestimento.

O desenvolvimento do projeto necessário para otimizar as características do duto é iterativo e resumido na Figura 3.

### 2.2.1 Projeto através de análise computacional

A indústria *offshore* vem experimentando constantes revoluções tecnológicas no desenvolvimento dos seus projetos. Métodos e ferramentas de análise avançados permitem uma abordagem de projeto mais sofisticada, que tiram vantagem dos materiais mais modernos e das normas revisadas que se baseiam nos conceitos de estado limite e métodos de confiabilidade. Esta nova abordagem é chamada *projeto através de análise*, onde o método dos elementos finitos é utilizado para simular o comportamento global de dutos assim como a sua resistência estrutural (BAI, 2014).

A vantagem de utilizar a engenharia avançada é uma substancial redução do CAPEX (despesas de capital) e OPEX (despesas operacionais) do projeto. O conservadorismo desnecessário é minimizado através da determinação mais precisa dos efeitos dos carregamentos locais na estrutura. As normas tendem a tratar o conteúdo de projetos da maneira mais abrangente, na qual frequentemente há muitas incertezas nos parâmetros de entrada e na aplicação dos métodos de análise (BAI, 2014).

Figura 3 – Desenvolvimento de projeto de duto *offshore*

Fonte: adaptado de BAI (2014)

Em condições em que a estrutura e o carregamento são modelados acuradamente, simulações realísticas revelam aspectos das normas que são excessivamente conservadores para uma situação de projeto específica. O modelo em MEF (método dos elementos finitos) simula o comportamento estrutural e permite que medidas atenuadoras específicas sejam aplicadas e documentadas (BAI, 2014).

Ferramentas de análise computacional que utilizam o método dos elementos finitos são muito empregadas para a análise do processo de instalação de dutos, assunto abordado no tópico seguinte.

## 2.3 Instalação de dutos

Os principais métodos de instalação de dutos offshore são:

- Lançamento por embarcação de construção
  - *Técnica S-lay*
  - *Técnica J-lay*
- *Técnica Reel-lay*
- Reboque
  - *Bottom tow*
  - *Off-bottom tow*
  - *Mid-depth tow*
  - *Surface tow*

Alguns métodos são mais adequados que outros, dependendo da situação. Alguns são mais apropriados para a instalação de dutos de pequeno diâmetro, outros são mais compatíveis com o lançamento em águas profundas. Uma visão geral é dada nos tópicos que seguem.

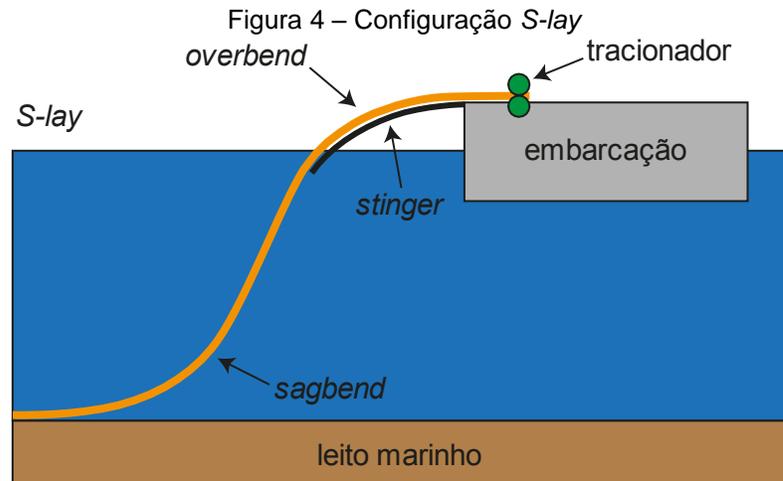
### 2.3.1 Lançamento por embarcação de construção

O lançamento por embarcação de construção é de longe a técnica mais utilizada para a construção de dutos (PALMER, ANDREW C.; KING, 2006). Esse método consiste na junção de tubos na embarcação, onde estações de trabalho são responsáveis pelas atividades de soldagem, inspeção e revestimento de junta. O lançamento progride em conjunto com o avanço da embarcação (BAI, 2014). O lançamento por embarcação de construção é mais comumente realizado nas versões *S-lay* e *J-lay*.

#### 2.3.1.1 *Técnica S-lay*

Uma configuração *S-lay* típica é apresentada na Figura 4. Neste método, tubos são alinhados e passam por um conjunto de estações de trabalho à medida que a embarcação avança. Tracionadores, localizados na popa, mantém todo o comprimento sendo lançado sob tração. O duto é suportado nos roletes da embarcação e de uma estrutura chamada *stinger*, formando a *overbend*. Então, o duto é suspenso na água até

o fundo do mar, formando a *sagbend*, cuja curvatura é controlada através da força aplicada pelos tracionadores. A *overbend* e a *sagbend* criam o formato de um "S".



Fonte: autor

As embarcações que utilizam a técnica *S-lay* podem ser classificadas da seguinte forma (GUO *et al.*, 2014):

- Primeira geração: barcaças de formas retas construídas originalmente para funções diversas, mas modificadas para o lançamento de dutos. São utilizadas em águas muito rasas, pântanos e águas restritas. Um exemplo é apresentado na Figura 5.
- Segunda geração: barcaças de formas retas normalmente construídas com a finalidade de lançar dutos. Utilizam entre 4 e 14 pontos de ancoragem para controle de posicionamento. São as mais comuns e existe um grande número delas ao redor do mundo. Para a sua operação, usualmente é necessário o apoio de: rebocadores, navios de suprimentos, embarcações de transporte de tubos e navios manuseadores de âncoras. Um exemplo de barcaça desta geração é apresentado na Figura 6.

Figura 5 – Barcaça de 1ª geração *McDermott DB17*



Fonte: site *Texas History*<sup>1</sup>

Figura 6 – Barcaça de 2ª geração *Castoro 12, Saipem*



Fonte: site *Caspian Energy*<sup>2</sup>

- Terceira geração: São semissubmersíveis que também utilizam linhas de ancoragem para o controle do posicionamento. A primeira embarcação desta geração foi a *Viking Piper*, construída em 1974 (Figura 7). Atualmente, apenas uma pequena parcela desta geração sobrevive.

---

<sup>1</sup> Disponível em <texashistory.unt.edu>. Acesso em 01/11/2018

<sup>2</sup> Disponível em <cnrg.ru>. Acesso em 31/10/2018

Figura 7 – Embarcação de 3ª geração *Viking Piper*, atual *Castoro 7*, *Saipem*



Fonte: site *Werf Gusto*<sup>3</sup>

- Quarta geração: Navios que utilizam posicionamento dinâmico, eliminando a necessidade de linhas de ancoragem. São capazes de lançar dutos em águas profundas e algumas embarcações mais modernas desta geração são capazes de se adaptar e também utilizar o método *J-lay*. Um exemplo é apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Navio de 4ª geração *Solitaire*, *Allseas*



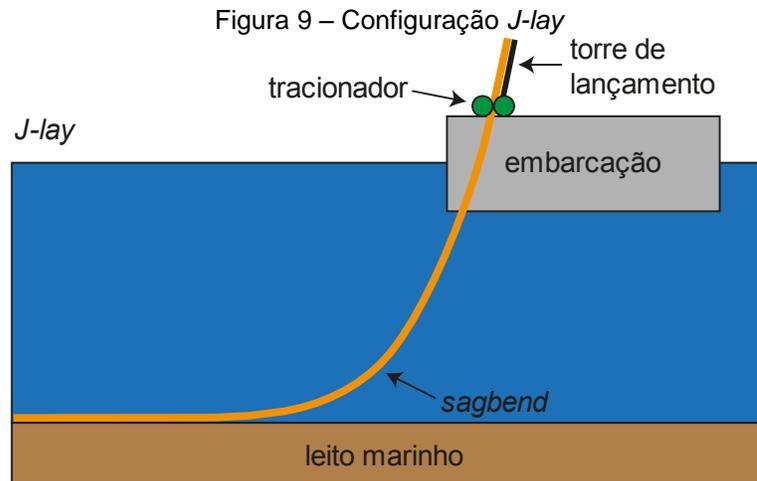
Fonte: site *Allseas*<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Disponível em < [werf-gusto.com](http://werf-gusto.com)>. Acesso em 31/10/2018

<sup>4</sup> Disponível em < [allseas.com](http://allseas.com)>. Acesso em 31/10/2018

### 2.3.1.2 Técnica *J-lay*

Para acompanhar o avanço da exploração de petróleo e gás em águas cada vez mais profundas, foi desenvolvida a técnica *J-lay*. Neste método, tubos são soldados em posição quase vertical e lançados no fundo do mar, como mostra a Figura 9.



Nesta configuração, o duto assume uma única curva de grande raio resultando em menores níveis de tensões quando comparado com a técnica *S-lay* para uma mesma profundidade. Não há *overbend*, o que elimina a necessidade de *stinger*. As forças horizontais necessárias para manter esta configuração são bem menores que aquelas requeridas para o lançamento *S-lay*, o que contribui para que navios e barcaças com sistema DP instalem uma torre de lançamento *J-lay* (GUO *et al.*, 2014). Um exemplo de embarcação que adota esta técnica é a *FDS* da *Saipem* (Figura 10).

O método *J-lay* é mais lento que o *S-lay*, pois possui apenas uma estação de trabalho. Entretanto, esta técnica consegue diminuir a diferença de produtividade com torres que manuseiam até juntas quádruplas pré-fabricadas. É usualmente utilizado para profundidades acima de 150m, onde embarcações que utilizam o sistema de ancoragem têm dificuldade para operar, pois os níveis de tensões no duto são extremamente elevados (GUO *et al.*, 2014).

Figura 10 – Navio de lançamento *J-lay FDS, Saipem*



Fonte: site *My Ship*<sup>5</sup>

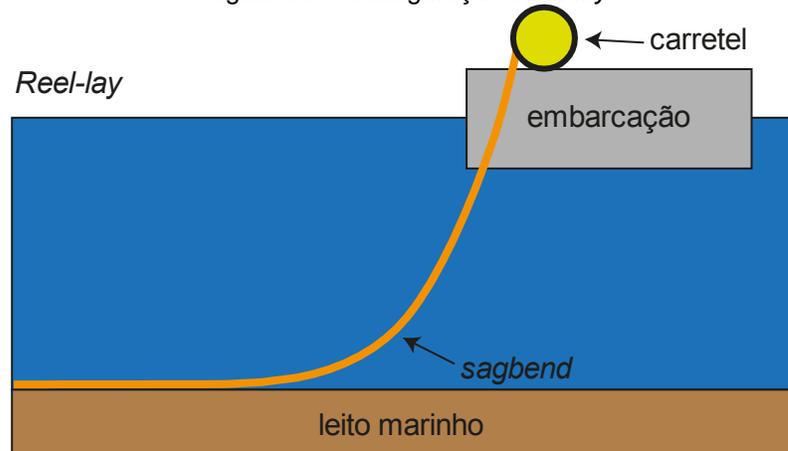
### 2.3.2 Técnica *Reel-lay*

O *Reel-lay* é um método de instalação de dutos no fundo do mar que utiliza um grande carretel montado em uma embarcação lançadora. A tubulação é montada em terra e enrolada no carretel acoplado no convés da unidade (GUO *et al.*, 2014), como mostra a Figura 11.

Este tipo de lançamento fornece um ambiente de trabalho mais estável, agilizando o processo de instalação. Chega a ser dez vezes mais rápido que os métodos convencionais citados anteriormente. Esta técnica pode ser empregada para dutos de até 18 polegadas de diâmetro (GUO *et al.*, 2014).

---

<sup>5</sup> Disponível em <myship.com>. Acesso em 31/10/2018

Figura 11 – Configuração *Reel-lay*

Fonte: autor

O *Reel-lay* reduz os custos de construção, pois permite que grande parte dos serviços de soldagem, inspeção e revestimento anticorrosivo sejam feitos *onshore*, onde os custos são bem menores comparados com os mesmos serviços realizados *offshore*. Após o armazenamento do duto no carretel da embarcação, este é levado até o local de instalação. O lançamento pode ser feito seguindo a configuração *S-lay* ou *J-lay*. Um exemplo de embarcação que emprega a técnica *Reel-lay* em conjunto com a configuração *J-lay* é a *Deep Blue* da Technip (Figura 12).

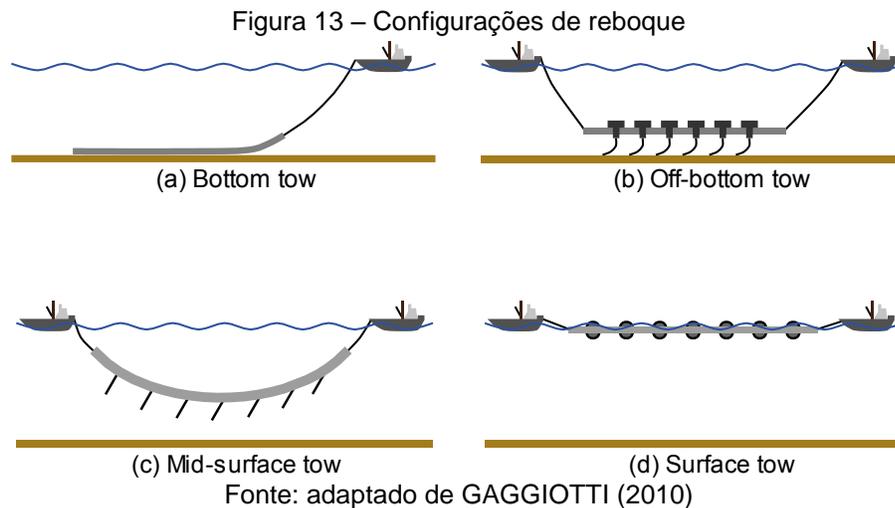
Figura 12 – Navio de lançamento *Reel-lay Deep Blue, Technip*Fonte: site *Skipsrevyen*<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Disponível em <skipsrevyen.no>. Acesso em 01/11/2018

### 2.3.3 Reboque

Assim como o método *Reel-lay*, as técnicas de reboque trazem a vantagem da montagem da tubulação em terra. Além disso, requer a utilização de apenas um ou dois rebocadores para o transporte do duto até o local de instalação (MOUSSELLI, 1981). É principalmente utilizado na construção de linhas curtas, geralmente até 4 km (BAI, 2014). Esta metodologia possui as seguintes variantes (BAI, 2014):

- *Bottom tow* (Figura 13 a): Como o nome sugere, esta técnica emprega o reboque do duto ao longo do fundo do mar até o seu local de instalação. Evita influência de ondas e vento, porém é restrito para leitos marinhos relativamente planos.
- *Off-bottom tow* (Figura 13 b): Utiliza flutuadores e correntes presos ao duto para mantê-lo a uma determinada distância do fundo do mar. Não apenas reduz a influência das ondas, como também evita diversos obstáculos submarinos. Apesar de possuir procedimentos de instalação complicados, é bastante utilizado.
- *Mid-depth tow* (Figura 13 c): Mantém a tubulação a uma determinada distância da superfície livre de forma a diminuir as influências das ondas e do vento.
- *Surface-tow* (Figura 13 d): utiliza flutuadores para manter a tubulação na superfície livre. É usado principalmente em regiões de águas calmas.



## 2.4 Análise de instalação de duto offshore

A análise de instalação de um duto offshore é feita através da modelagem matemática do problema físico. A análise é classificada de acordo com o nível de abrangência matemática em:

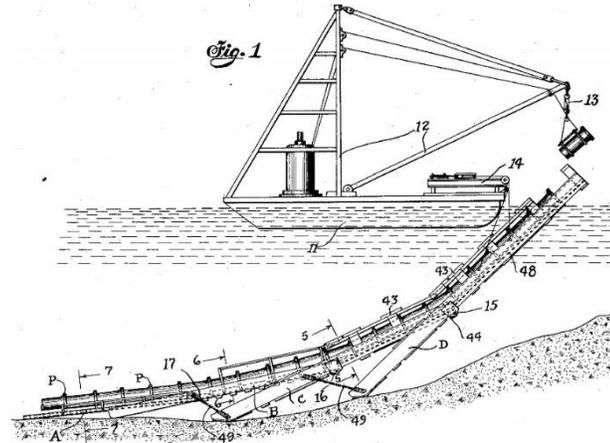
- Análise estática: O comportamento do modelo não depende do tempo e este é determinado a partir da solução do problema estático.
- Análise quase-estática: Nesta análise, os carregamentos aplicados no modelo variam no tempo de maneira lenta (em uma frequência muito menor quando comparada com as frequências naturais da estrutura), de forma que os efeitos inerciais podem ser desprezados e o modelo possa ser tratado como estático.
- Análise quase-dinâmica: os carregamentos aplicados no modelo variam no tempo e seus efeitos inerciais não podem ser desprezados. Entretanto, a modelagem matemática ainda é simplificada a ponto de não abranger todos os principais carregamentos sofridos pela estrutura.
- Análise dinâmica: Esta análise tende a se aproximar do problema real, abrangendo os principais carregamentos sofridos pela estrutura e o seu comportamento no domínio do tempo.

Quanto mais a análise se aproxima do problema real, melhores são os parâmetros obtidos para julgar a viabilidade de instalação de um duto submarino. Ao longo dos anos, muito se tem evoluído na modelagem dos fenômenos que acompanham essa operação e o tópico seguinte procura fazer um resumo desta evolução.

## 2.5 Revisão histórica e bibliográfica

A ideia de instalar tubulações submarinas teve início antes mesmo da popularização da soldagem como processo de fabricação. Algumas patentes (CHAPMAN, 1921; LOCKWOOD, 1926) dos anos 1920 projetavam a construção de dutos através de mecanismos de fixação para a união sucessiva de várias seções de tubulação, como mostra a Figura 14.

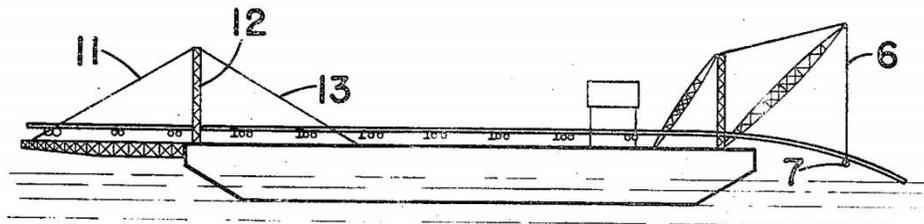
Figura 14 – Aparato de instalação de duto submarino



Fonte: CHAPMAN (1921)

A soldagem ganha espaço no período da Segunda Guerra Mundial (1939-1945). A união entre seções tubulares a partir deste processo de fabricação passa a ser discutido, por exemplo, na patente de CHILDRESS (1940), que sugere a utilização de uma barcaça de construção de dutos submarinos em uma configuração que muito se assemelha à técnica *S-lay* (Figura 15).

Figura 15 – Idealização de construção de duto utilizando uma barcaça

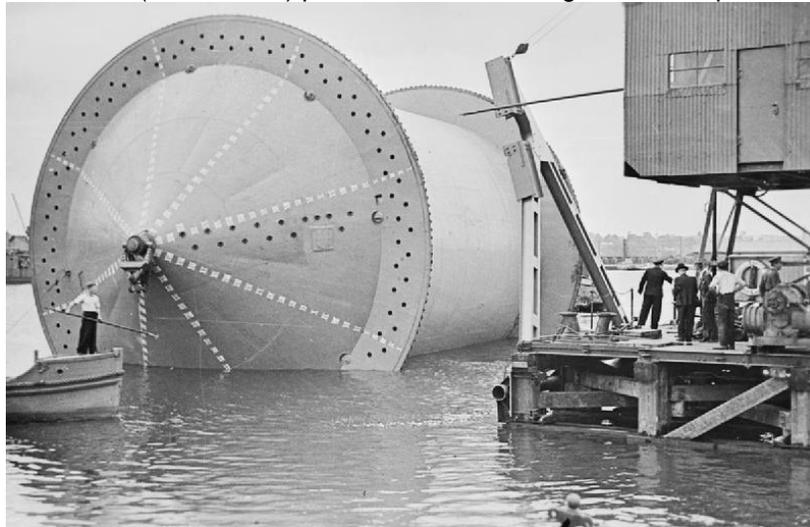


Fonte: CHILDRESS (1940)

Um dos primeiros e mais conhecidos dutos submarinos foi construído em 1942, entre Inglaterra e França através do Canal da Mancha, percorrendo uma distância de quase 70 km. A necessidade de construção desta linha surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, quando as tropas aliadas perceberam que teriam que invadir a Normandia e que necessitariam de uma vasta quantidade de gasolina. As autoridades militares convocaram a *Anglo-Iranian*, precursora da *British Petroleum*, e indagaram a possibilidade de lançar dutos da Inglaterra para a França através do Canal da Mancha. Dois tipos de dutos foram utilizados no projeto, que foi chamado de *Pipe-Line Under the Ocean (PLUTO)*.

Um deles se parecia com um cabo submarino sem núcleo, formado por um tubo coberto por camadas de tiras metálicas e plástico. O outro tipo era uma linha de aço soldada sem proteção anticorrosiva. Pequenos navios convencionais para lançamento de cabos foram utilizados para a instalação destes dutos. A tubulação era fabricada em grandes comprimentos e enrolada em carretéis flutuantes (Figura 16). Rebocadores transportavam estes carretéis ao longo do Canal da Mancha, desenrolando-os enquanto avançavam (PALMER, ANDREW C.; KING, 2006).

Figura 16 – Carretel (*Conundrum*) para armazenamento grandes comprimentos de duto



Fonte: site *Wikipedia*<sup>7</sup>

A história da indústria de dutos offshore moderna originou-se no Golfo do México, quando no início dos anos 1950, companhias de petróleo com bases de exploração *onshore* moveram-se em direção ao mar, começando nas proximidades da costa, e gradualmente deslocando-se para o mar aberto (JENSEN, 2010). O primeiro poço produtor de petróleo longe da costa foi explorado em 1947, a primeira barcaça lançadora foi comissionada em 1952, e em 1954 foi lançado o primeiro duto no mar do Golfo do México (BRAESTRUP *et al.*, 2005).

Não demorou muito para que a exploração offshore de petróleo partisse para águas mais profundas e com isso, cresceu a busca por métodos de lançamento que minimizassem o nível de tensões na tubulação a ser lançada. Foi com essa preocupação

<sup>7</sup> Disponível em <[bit.ly/2DHuUZC](http://bit.ly/2DHuUZC)>. Acesso em 01/11/2018



devido às forças das ondas e correntes, assim como os movimentos do duto e da embarcação lançadora.

Não se pode deixar de mencionar os avanços no campo experimental. SEKITA *et al.* (1977) utilizaram um modelo de barcaça na escala 1:60 para simular o comportamento do lançamento em águas do sudeste asiático. Eles tomaram medida não somente das oscilações da barcaça, mas também do comportamento dinâmico do *stinger*, das reações nos suportes e das tensões na tubulação em lançamento.

Modelos matemáticos cada vez mais complexos surgem a partir dos trabalhos desenvolvidos e culminam com advento da computação para o projeto de dutos *offshore*. MALAHY (1985) desenvolveu um código que emprega o método dos elementos finitos para a avaliação do problema tridimensional não linear, envolvendo duto, embarcação, suportes, *stinger* e fundo do mar. A evolução do código de Malahy deu origem ao software comercial OFFPIPE, até hoje utilizado para o projeto de instalação e operação de dutos *offshore*.

A busca por recursos naturais em águas de até 1000 m de profundidade na década de 90 é bem retratada no artigo de PALMER (1994). Continua a busca incessante por inovações e aperfeiçoamentos tecnológicos para permitir a instalação de dutos em águas profundas. TANNURI *et al.* (2002) realizaram a análise do sistema de posicionamento dinâmico (DP) a ser instalado na barcaça BGL-1 da Petrobras, empregando testes experimentais para alimentar um simulador numérico. A BGL-1 foi modernizada com o sistema DP em 2007, o que permitiu a operação em até 1000 m de lâmina d'água.

A busca por aperfeiçoamento das tecnologias existentes continua, assim como a atualização das normas que classificam os projetos de instalação. Novas técnicas de instalação têm sido idealizadas, como por exemplo o reboque *Surface-tow* de uma linha enrolada em forma de espiral (JACOVAZZO *et al.*, 2008), estratégia utilizada para instalar comprimentos de linhas maiores que aqueles estabelecidos pelo método de reboque convencional.

A instalação de dutos já chega nos 2900 m de profundidade no Golfo do México, alcançada em 2013 pela Technip a serviço da Shell para instalação de uma linha de gás no campo de *Stones*. Após a desaceleração do mercado global de óleo e gás em águas profundas a partir de 2014, a demanda por instalação de dutos *offshore* também caiu. A

recuperação da demanda começou lenta em 2017, e a expectativa é que o mercado global de instalação de dutos continue crescendo até 2020, como aponta o artigo de ALVAREZ (2017). Com novos projetos surgindo, também retoma o desenvolvimento das técnicas de construção.

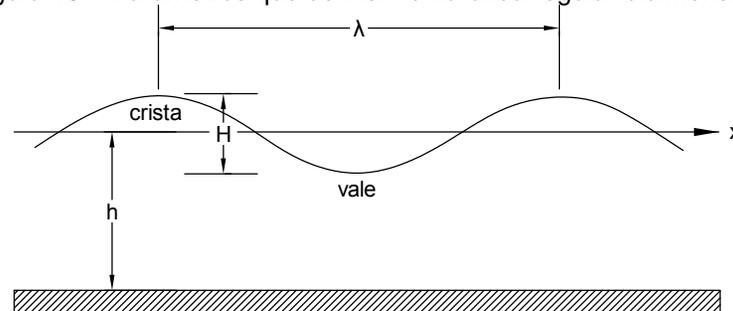
## 2.6 Seakeeping

*Seakeeping*, ou comportamento no mar, é a estudo da dinâmica do sistema flutuante no ambiente marinho. É de extrema importância conhecer os limites operacionais de uma embarcação lançadora de dutos para o adequado projeto da operação *offshore*. No que concerne este trabalho, é tratado somente a influência das ondas na integridade estrutural da tubulação durante o seu lançamento no fundo do mar. Entretanto, é importante salientar que o projeto completo de uma operação *offshore* como essa é muito mais complexo, e também leva em consideração os efeitos de correnteza e vento no comportamento da embarcação.

### 2.6.1 Teoria das ondas

Os parâmetros importantes para descrever as ondas são o comprimento ( $\lambda$ ) e a altura ( $H$ ), e a profundidade ( $h$ ) sobre a qual elas se propagam. Todos os outros parâmetros, como velocidade de propagação e acelerações, podem ser determinados a partir destas quantidades (DEAN; DALRYMPLE, 1991). Na Figura 18, é apresentado um esquema bidimensional da onda propagando-se na direção  $x$ .

Figura 18 – Parâmetros que definem uma onda regular bidimensional



Fonte: autor

A frequência e o número de onda são definidos a partir das seguintes equações:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.2)$$

De acordo com a teoria potencial, a relação de dispersão (2.3) expressa a relação existente entre a o período e o número da onda, onde  $g$  é a aceleração da gravidade.

$$\omega^2 = kg \cdot \tanh(kh) \quad (2.3)$$

De um modo geral, a validade da teoria de onda pode ser quantificada pelo gráfico apresentado na Figura 19. É amplamente aceito em apresentações sobre a aplicabilidade das teorias de ondas e comumente utilizado em códigos de engenharia costeira (BAI, 2014). Através desta figura, é possível selecionar uma teoria a partir de três parâmetros: altura da onda ( $H$ ), período ( $T$ ) e profundidade ( $h$ ).

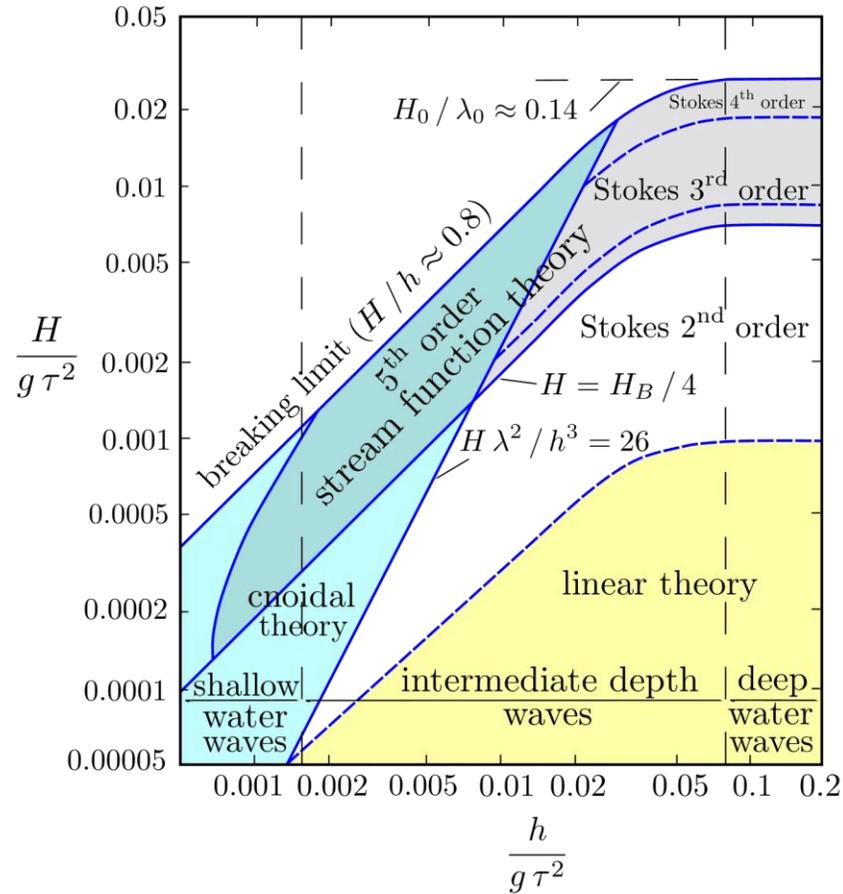
A ocorrência de onda é classificada águas rasas, intermediárias ou profundas, e essa classificação pode ser dada pela relação entre o comprimento de onda e a profundidade (DEAN; DALRYMPLE, 1991), como mostra a tabela abaixo:

Tabela 1 – Classificação das ondas quanto à profundidade

	$\frac{h}{\lambda} \leq \frac{1}{20}$	$\frac{1}{20} < \frac{h}{\lambda} < \frac{1}{2}$	$\frac{h}{\lambda} \geq \frac{1}{2}$
Ocorrência em águas	rasas	intermediárias	profundas

Na Figura 19, a ordenada ( $H/gT^2$ ) é uma medida da declividade da onda ( $H/\lambda$ ). As diferentes teorias exibidas na figura podem ser divididas em dois grupos: teoria linear (Airy) e teoria não-linear (Cnoidal e Stokes). A teoria de Airy é a mais simples, e utiliza uma função senoidal para descrever a superfície do mar.

Figura 19 – Regiões de validade para as teorias de ondas



Fonte: site *Wikipedia*<sup>8</sup>

Este conjunto de teorias é limitado pela avaliação de altura de quebra da onda. A relação mais geral que determina a altura de quebra ( $H_B$ ) é determinada pela equação (2.4). Para águas profundas, a altura de quebra é simplificada para a equação (2.5) (ORCINA, 2018).

$$H_B = \frac{0,88}{k} \tanh(0,89kh) \quad (2.4)$$

$$\frac{H_B}{\lambda} = 0,14 \quad (2.5)$$

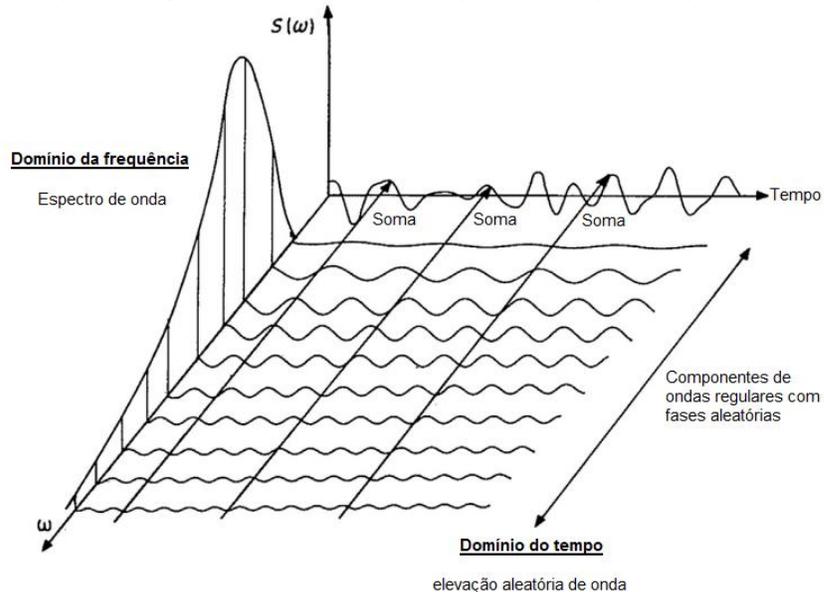
<sup>8</sup> Disponível em <bit.ly/2RbJE6H>. Acesso em 23/11/2018

Entretanto, o mar real não é composto por uma superfície regular, mas sim por um padrão irregular e complexo. Apesar da irregularidade, o mar real pode ser tratado do ponto de vista estatístico através do espectro de onda.

De modo geral, um espectro de onda é uma maneira de descrever as ondas do mar geradas por um vento que se manteve soprando em velocidade constante por um longo intervalo de tempo. Um espectro fornece a distribuição de energia em função de diferentes frequências de onda na superfície do mar (WIKIWAVES, 2012).

A relação entre o espectro de onda (pertencente ao domínio da frequência) e a representação da elevação da onda no domínio do tempo é entendida como a combinação de várias componentes de ondas regulares com fases aleatórias, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Representação nos domínios do tempo e da frequência para ondas irregulares



Fonte: Adaptado de BAI (2014)

Um espectro recomendado pela ITTC em condições de mar aberto e totalmente desenvolvido é o ISSC (sigla para *International Ship and Offshore Structure Congress*), também conhecido como espectro de Bretschneider ou espectro de Pierson-Moskowitz modificado (FALTINSEN, 1990). Este espectro é definido através da seguinte equação:

$$S(f) = \frac{5}{16} H_s^2 f_p^4 f^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right) \quad (2.6)$$

Onde:

$H_s$ : altura significativa do espectro de mar irregular (m);

$f_p$ : frequência de pico do espectro de mar irregular (Hz);

$f$ : frequência da onda do espectro de mar irregular (Hz).

### 2.6.2 Dinâmica do sistema flutuante

O comportamento do sistema flutuante em ondas é estudado a partir da solução de um sistema de equações diferenciais, onde cada grau de liberdade  $j$  é determinado pela equação (2.7) abaixo. O conjunto de todas as equações pode ser simplificado através da representação matricial (2.8).

$$\sum_{k=1}^6 [(m_{jk} + a_{jk})\ddot{\xi}_k + b_{jk}\dot{\xi}_k + c_{jk}\xi_k] = F_j, \quad j = 1, \dots, 6 \quad (2.7)$$

$$[M + A]\{\ddot{\xi}\} + [B]\{\dot{\xi}\} + [C]\{\xi\} = \{F\} \quad (2.8)$$

Onde:

$\xi$ : vetor contendo o deslocamento em cada grau de liberdade;

$M$ : matriz de inércias;

$A$ : matriz de massas adicionais;

$B$ : matriz de amortecimentos;

$C$ : matriz de restaurações;

$F$ : Carregamentos introduzidos pela onda.

No domínio da frequência, o resultado deste sistema de equações pode ser apresentado através do Operador de Amplitude de Resposta (RAO), que representa a relação

entre a amplitude do movimento em um determinado grau de liberdade e a amplitude da onda para um determinado valor de frequência.

$$RAO_j(\omega) = \frac{\xi_{a,j}}{\zeta_a}(\omega) \quad (2.9)$$

Onde:

$RAO_j$ : RAO para o grau de liberdade  $j$ ;

$\xi_{a,j}$ : amplitude do deslocamento no grau de liberdade  $j$ ;

$\zeta_a$ : amplitude da onda de frequência  $\omega$ .

As frequências naturais do sistema flutuante são dadas pela formulação da equação (2.10), na qual  $i$  representa o grau de liberdade e  $\omega_0$ , a frequência natural não amortecida.

$$\omega_{0i} = \sqrt{\frac{C_{ii}}{M_{ii} + A_{ii}(\omega_{0i})}} \quad (2.10)$$

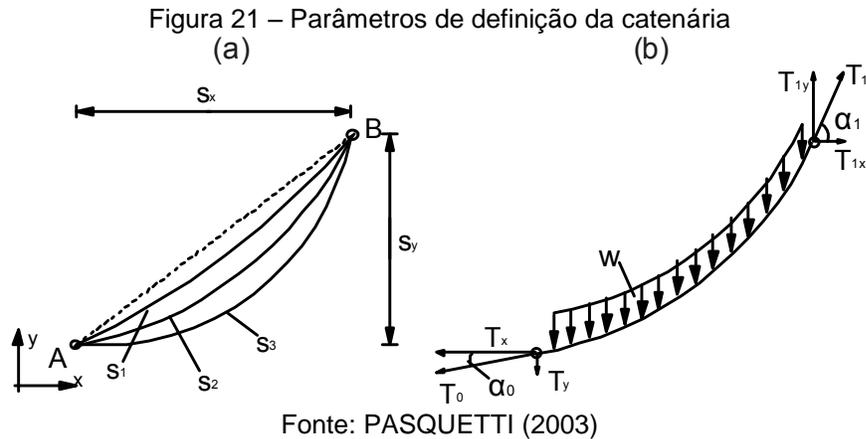
## 2.7 Stationkeeping

O posicionamento preciso e o controle de movimento para navios e outras estruturas flutuantes é de extrema importância do ponto de vista operacional. Propulsores e sistemas de ancoragem são determinantes para manter uma estrutura sob ação de vento, ondas e corrente.

### 2.7.1 Sistemas de ancoragem

Desde o início do lançamento de dutos no mar até a atualidade, sistemas de ancoragem desempenham um papel essencial para restringir a movimentação da embarcação no plano horizontal de modo a preservar a integridade estrutural da tubulação sendo lançada. Os sistemas de ancoragem modificam a matriz  $C$  da equação (2.8), introduzindo termos restaurativos para os graus de liberdade em *surge*, *sway* e *yaw*.

As forças introduzidas pelo cabo de ancoragem na embarcação são determinadas a partir das equações que definem o comportamento de cabos em catenária. A Figura 21 apresenta todos os parâmetros necessários para a definição do cabo em catenária. Os pontos A e B representam respectivamente o ponto de ancoragem e o *fairlead*<sup>9</sup> da embarcação.



A Figura 21 (a) apresenta 3 curvas diferentes. A curva S1 representa a catenária incompleta, ou seja, existe componente vertical de força no ponto A, o que significa que o ângulo  $\alpha_0$  é não nulo. A curva S2 representa a catenária completa, ou seja, a linha chega no ponto A com ângulo  $\alpha_0$  nulo, e sem componente vertical de força no ponto A. Na curva S3, a linha possui um comprimento maior que o comprimento da catenária completa; como a linha não pode atravessar o fundo do mar, esta vai possuir parte do seu comprimento ( $S_0$ ) repousando no leito marinho, e a outra parte assumirá a geometria de uma catenária completa.

Na Figura 21 (b)  $w$  é o peso linear,  $s_x$  e  $s_y$  são respectivamente as extensões horizontal e vertical do cabo de ancoragem, enquanto  $s$  é o seu comprimento.  $T_x$  e  $T_y$  são respectivamente as componentes horizontal e vertical da força no ponto A, e  $T_0$  é a resultante.  $T_{1x}$  e  $T_{1y}$  são respectivamente as componentes horizontal e vertical da força no ponto B, e  $T_1$  é a resultante.  $\alpha_0$  é o ângulo entre  $T_0$  e  $T_x$ , enquanto  $\alpha_1$  é o ângulo entre  $T_1$  e  $T_{1x}$ .

<sup>9</sup> *Fairlead*: guia com rolete para passagem do cabo de ancoragem.

Os parâmetros da catenária são definidos a partir das duas equações a seguir (PASQUETTI, 2003):

$$S_x = \frac{T_x}{w} \left( \ln \left( \tan \alpha_0 + \frac{ws}{T_x} + \sqrt{1 + \left( \tan \alpha_0 + \frac{ws}{T_x} \right)^2} \right) - \ln \left( \frac{\sin \alpha_0 + 1}{\cos \alpha_0} \right) \right) \quad (2.11)$$

$$T_x = \frac{w(s^2 - s_y^2)}{2(s_y \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0} - s \tan \alpha_0)} \quad (2.12)$$

A componente horizontal de tração  $T_x$  é constante ao longo de toda a linha, o que leva ao cálculo de  $T_0$  através da equação (2.13).

$$T_0 = \frac{T_x}{\cos \alpha_0} \quad (2.13)$$

As componentes verticais de tração  $T_y$  e  $T_{1y}$  são dadas pelas equações (2.14) e (2.15).

$$T_y = T_0 \sin \alpha_0 \quad (2.14)$$

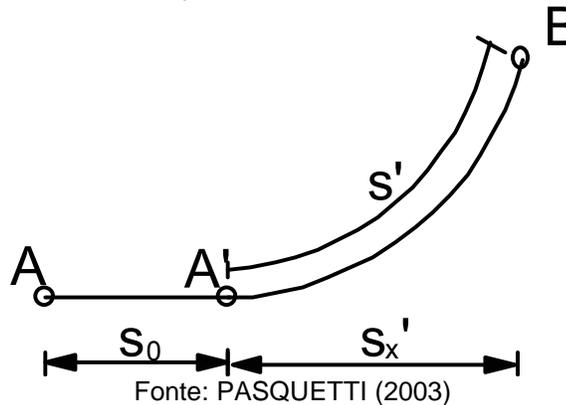
$$T_{1y} = T_0 \sin \alpha_0 + ws \quad (2.15)$$

Logo, a tração no *fairlead* é calcula pela equação (2.16).

$$T_1 = \sqrt{T_x^2 + T_{1y}^2} \quad (2.16)$$

Em caso de existir reserva de restauração, isto é, linha deitada no fundo do mar, as equações (2.11) e (2.12) fornecem um  $\alpha_0$  negativo. Um processo iterativo é feito para encontrar os parâmetros adicionais apresentados na Figura 22.

Figura 22 – Parâmetros para catenária com reserva de restauração



Nesta nova configuração,  $s_x$  agora se torna  $s_x'$  e  $s$  é tratado como  $s'$ . Sabe-se de antemão que a soma de  $s'$  com  $s_0$  fornece  $s$ , e que  $\alpha_0$  é nulo. Portanto, continua tratando-se de um sistema determinado se existirem apenas duas incógnitas.

### 2.7.2 Forças e momentos de deriva média

Objetos sujeitos a ondas também sofrem com significativos carregamentos introduzidos por efeitos de segunda ordem. Estes carregamentos podem ser aplicados a embarcações e são calculados baseando-se na Função de Transferência Quadrática (QTF). Esta função possui duas componentes: uma relacionada a soma de frequências e outra relacionada a diferença de frequências do trem de ondas. Para o projeto de sistemas de ancoragem, é de interesse apenas a última componente, pois produzem carregamentos de baixa frequência, que são os carregamentos de deriva média e os carregamentos de deriva lenta. A parcela de soma de frequências está associada a carregamentos de baixo período, de interesse no estudo do comportamento dinâmico de plataforma do tipo *Tension Leg*, por exemplo (FALTINSEN, 1990).

Para o projeto do sistema de ancoragem através de análise quase-estática, é interessante levar em consideração os carregamentos de deriva média. Estes podem ser calculados para um mar irregular através da seguinte formulação (FALTINSEN, 1990):

$$F_i = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cdot QTF(\omega, \mu) d\omega \quad (2.17)$$

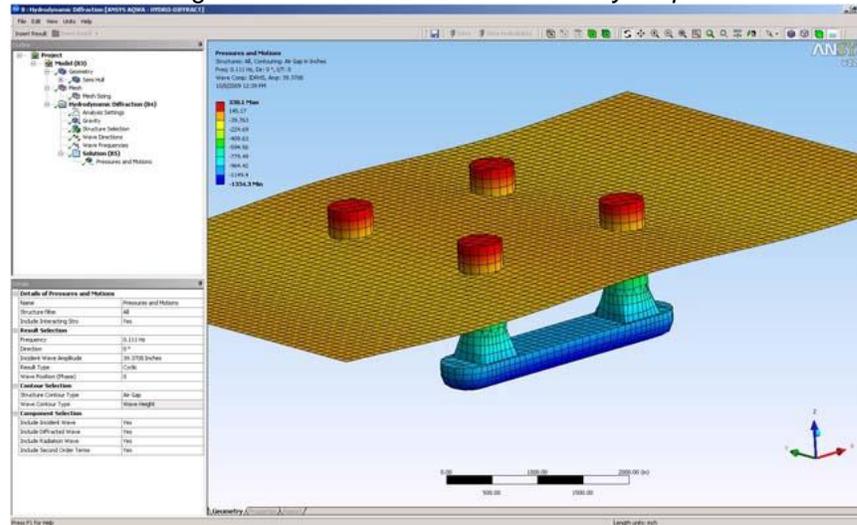
Onde:

$F_i$ : carregamento no grau de liberdade  $i$  (maior interesse em *surge*, *sway* e *yaw*);  
 $S(\omega)$ : espectro de mar em função da frequência ( $\omega$ );  
 $QTF(\omega, \mu)$ : valor da QTF em função da frequência e da direção de incidência ( $\mu$ ).

## 2.8 Aqwa

*Ansys Aqwa* é um software que contém ferramentas para análise dos efeitos dinâmicos de ondas, vento e corrente em sistemas flutuantes ou fixos (vide interface do programa na Figura 23). Isto é feito através do método dos painéis, que é o método numérico mais utilizado para avaliação do comportamento de estruturas em ondas. Esta metodologia é baseada na teoria potencial de ondas e representa a superfície da estrutura por uma série de painéis difratores. A abordagem através das equações de Morison é amplamente utilizada para corpos esbeltos. O *Aqwa* emprega um método híbrido para modelar os componentes de maior volume da estrutura através de painéis difratores e os elementos de pequena seção transversal através de elementos de Morison (ANSYS, 2015).

Figura 23 – Interface do *software Ansys Aqwa*



Fonte: site [DE247](http://DE247.com)<sup>10</sup>

No que tange este trabalho, o *Aqwa* é uma importante ferramenta que fornece coeficientes hidrodinâmicos (massa adicional e amortecimento), RAO e forças

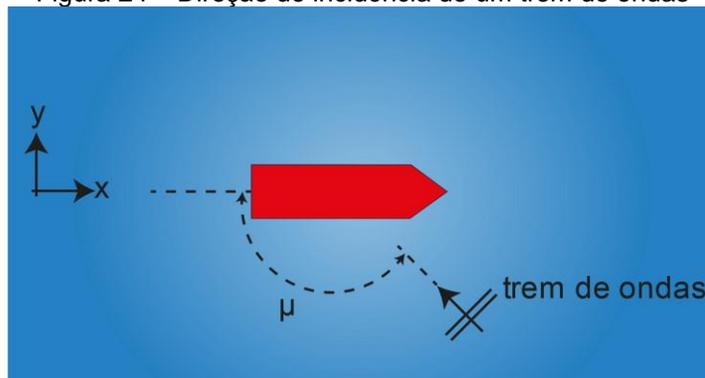
<sup>10</sup> Disponível em <[digitalengineering247.com](http://digitalengineering247.com)>. Acesso em 03/12/2018

hidrodinâmicas (Froud-Krylov e difração), inclusive a QTF. Estas informações servem como dado de entrada para a análise feita pelo *software Orcallex*, tratado com mais detalhe no tópico 2.13.

## 2.9 Janela operacional

A janela operacional é a região de parâmetros operacionais em que uma embarcação pode trabalhar, considerando todos os seus fatores limitantes. Para uma embarcação lançadora de dutos, por exemplo, a janela operacional é estabelecida de forma que não sejam ultrapassadas as capacidades dos seus equipamentos e que o duto não sofra dano estrutural. Para este trabalho, a janela operacional é definida em termos das propriedades de mar com ondas unidirecionais (Figura 24). Em uma análise mais completa, também são considerados vento, corrente, profundidade, etc.

Figura 24 – Direção de incidência de um trem de ondas



Fonte: autor

As propriedades que definem o conjunto de estados de mar que compõem a janela operacional são: período, direção e altura. A função que representa a fronteira da janela operacional é dada abaixo:

$$H_f = f(T, \mu) \quad (2.18)$$

Onde:

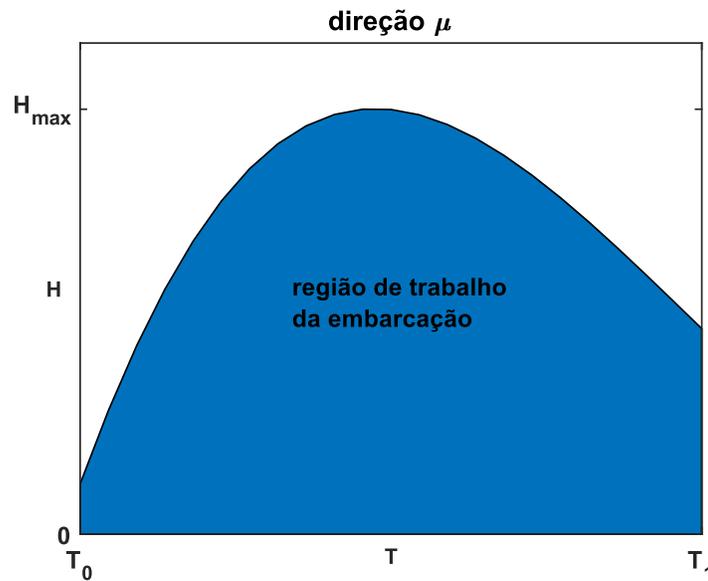
$H_f$ : máxima altura de onda para cada par  $(T, \mu)$ ;

$T$ : período de onda;

$\mu$ : direção de incidência.

A função dada pela equação (2.18) determina o limite entre as condições em que a embarcação pode trabalhar (alturas de onda menores ou iguais a  $H_f$ ) e as condições em que a operação não é factível (alturas de onda maiores que  $H_f$ ). Este conceito pode ser entendido através de um gráfico cartesiano bidimensional, como o da Figura 25.

Figura 25 – Representação cartesiana da função  $H_f$  para uma direção de incidência fixa. A forma apresentada por  $H_f$  nesta figura é apenas ilustrativa



Fonte: autor

A janela operacional pode ser definida em termos matemáticos, como o seguinte subconjunto.

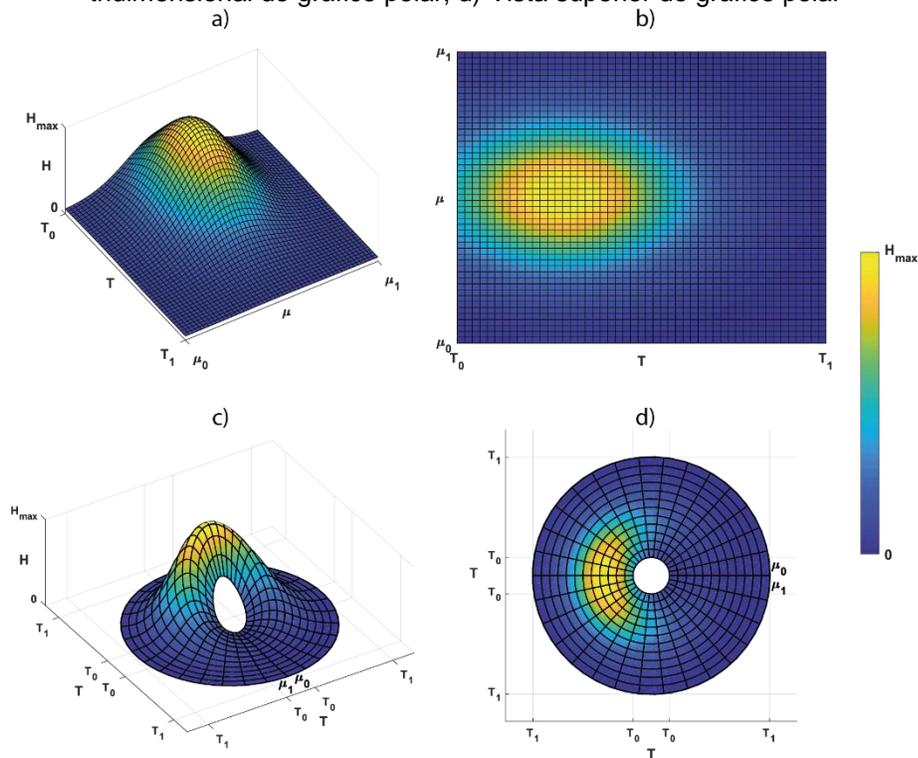
$$W = \{(H, T, \mu) \in \mathbb{R}^3 \mid 0 \leq H \leq H_f, T_0 \leq T \leq T_1 \text{ e } \mu_0 \leq \mu \leq \mu_1\} \quad (2.19)$$

Onde  $H$  é a altura de onda e  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $\mu_0$  e  $\mu_1$  definem os intervalos de análise para período de onda e direção de incidência. A superfície  $H_f$  pode ser entendida em forma de gráfico cartesiano (Figura 26 a e b) ou polar (Figura 26 c e d). O conjunto  $W$  é o conjunto de pontos abaixo da superfície  $H_f$ .

Para facilitar a comparação entre diferentes janelas operacionais, será utilizado o volume da região  $W$ , chamado aqui de  $v_{janela}$  (remetendo a volume de janela), calculado através da seguinte integral:

$$v_{janela} = \int_{T_0}^{T_1} \int_{\mu_0}^{\mu_1} H_f(T, \mu) d\mu dT \quad (2.20)$$

Figura 26 – a) Vista tridimensional do gráfico cartesiano; b) Vista superior do gráfico cartesiano; c) Vista tridimensional do gráfico polar; d) Vista superior do gráfico polar



Fonte: autor

## 2.10 Integridade estrutural

Durante a análise de construção de um duto submarino, os níveis de tensões e deformações no duto devem ser analisados conforme regras e padrões conhecidos. No lançamento *S-lay*, duas regiões podem ser identificadas, a *overbend* e a *sagbend* (vide Figura 4).

A *overbend* se estende do tracionador até o fim do *stinger*. O principal controle de curvatura da *overbend* é o conjunto de suportes do *stinger*. Essa curvatura, combinada

com a tração axial, fornece o nível global de tensões e deformações na *overbend*. Os maiores esforços acontecem nos suportes, onde age um carregamento local. Esforços dinâmicos na embarcação (ondas e correntes) aumentam as reações dos últimos suportes do *stinger* (GUO *et al.*, 2014).

A *sagbend* compreende todo o comprimento suspenso, ou seja, desde o fim do *stinger* até o ponto de contato com o leito marinho (*touch down point* ou TDP). As tensões e deformações atuantes na *sagbend* também ocorrem devido à curvatura assumida pela tubulação, mas esta região também sofre com a ação da pressão hidrostática. Quanto maior a profundidade do lançamento, maior a chance de o duto colapsar devido à pressão externa. Os carregamentos dinâmicos das ondas, correntes e possivelmente VIV, adicionam danos de fadiga à estrutura do duto (GUO *et al.*, 2014).

Dutos *offshore* devem atender requisitos de resistência estrutural, resistência à corrosão, além de tolerâncias dimensionais e soldabilidade, de forma que possam resistir aos ambientes severos no fundo do mar, bem como servir para os métodos de construção conhecidos (BAI, 2014). A API-5L especifica os critérios de manufatura dos tubos utilizados nesta atividade. Já a integridade estrutural do duto durante o seu lançamento, é defendida por regras de classificação, como por exemplo a DNVGL-OS-F101. Estas duas normas são tratadas a seguir.

### 2.10.1 API 5L

Este padrão especifica requerimentos para a manufatura de produtos em dois níveis (PSL 1 e PSL 2) de tubos com ou sem costura utilizados para o transporte de fluidos nas indústrias de petróleo e gás (API, 2012).

Os dados desta norma que serão utilizados neste trabalho estão localizados no anexo J da API 5L, que trata de critérios específicos para tubos PSL 2 aplicados em serviços *offshore*. Deste anexo é extraída a Tabela 15, localizada no apêndice 8.2 deste trabalho, que apresenta as propriedades mecânicas para os aços adotados na construção de tubulações submarinas.

### 2.10.2 DNVGL-ST-F101

Este padrão dá critérios e recomendações para o desenvolvimento conceitual, projeto, construção, operação e abandono de sistemas de dutos submarinos. O foco da norma é a integridade estrutural do duto (DNV-GL, 2017).

#### 2.10.2.1 Resistência do material

De acordo com o item 5.3.3 da DNV-GL (2017), a resistência do material que deve ser utilizada como critério de estado limite é dada pela seguinte equação:

$$f_y = (SMYS - f_{y,temp}) \cdot \alpha_U \quad (2.21)$$

Onde:

$f_y$ : tensão de escoamento a ser utilizada no projeto;

$SMYS$ : tensão de escoamento mínima especificada (*Specified Minimum Yield Stress*);

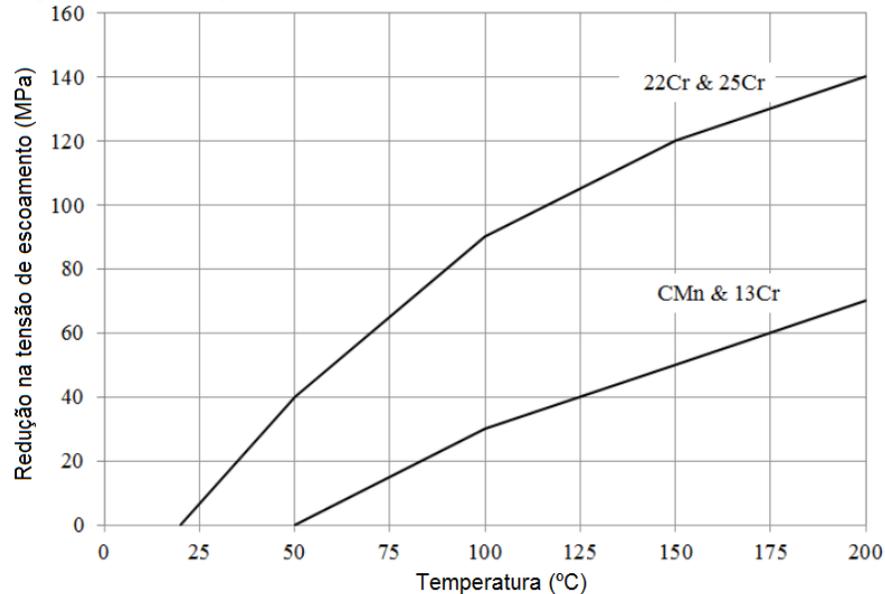
$f_{y,temp}$ : redução da tensão de escoamento devido ao efeito da temperatura (ver item 2.10.2.2);

$\alpha_U$ : fator de resistência do material (ver item 2.10.2.3).

#### 2.10.2.2 Redução da tensão de escoamento ( $f_{y,temp}$ )

A redução na tensão de escoamento devido ao efeito da temperatura depende do material da tubulação e pode ser determinada através do gráfico da Figura 27.

Figura 27 – Redução na tensão de escoamento em função da temperatura



Fonte: Adaptado de DNV-GL (2017)

A norma fornece duas curvas diferentes, que se referem à composição do aço utilizado na fabricação do tubo.

### 2.10.2.3 Fator de resistência do material $\alpha U$

O fator de resistência do material,  $\alpha U$ , depende da existência ou não de requerimento suplementar U, como mostra a Tabela 2 extraída do item 5.3.3.6 da DNV-GL (2017). O requerimento suplementar é uma medida da confiança de que não há nenhum tubo com tensão de escoamento inferior ao mínimo especificado (*SMYS*). Este fator serve para penalizar materiais com uma alta variabilidade de tensão de escoamento.

Tabela 2 – Fator de resistência do material

Situação de carregamento	$\alpha U$	
	Normal	Requerimento suplementar U
Teste de pressão no sistema	1,00	1,00
Outras situações	0,96	1,00

Fonte: Adaptado de DNV-GL (2017)

#### 2.10.2.4 Critério simplificado de lançamento

De acordo com o item 13.7.3 da DNV-GL (2017), o critério simplificado de lançamento pode ser utilizado como critério preliminar para checagem da flambagem local durante estágios iniciais de projeto.

Para carregamento estático na *overbend*, a deformação deve satisfazer o critério I da Tabela 3. Para a combinação de carregamento estático e dinâmico, a deformação deve satisfazer o critério II da Tabela 3. A deformação deve incluir efeitos de flexão, tração e reação dos suportes.

Tabela 3 – Critério simplificado *overbend*

Critério	X70	X65	X60	X52
I	0,270%	0,250%	0,230%	0,205%
II	0,325%	0,305%	0,290%	0,260%

Fonte: Adaptado de DNV-GL (2017)

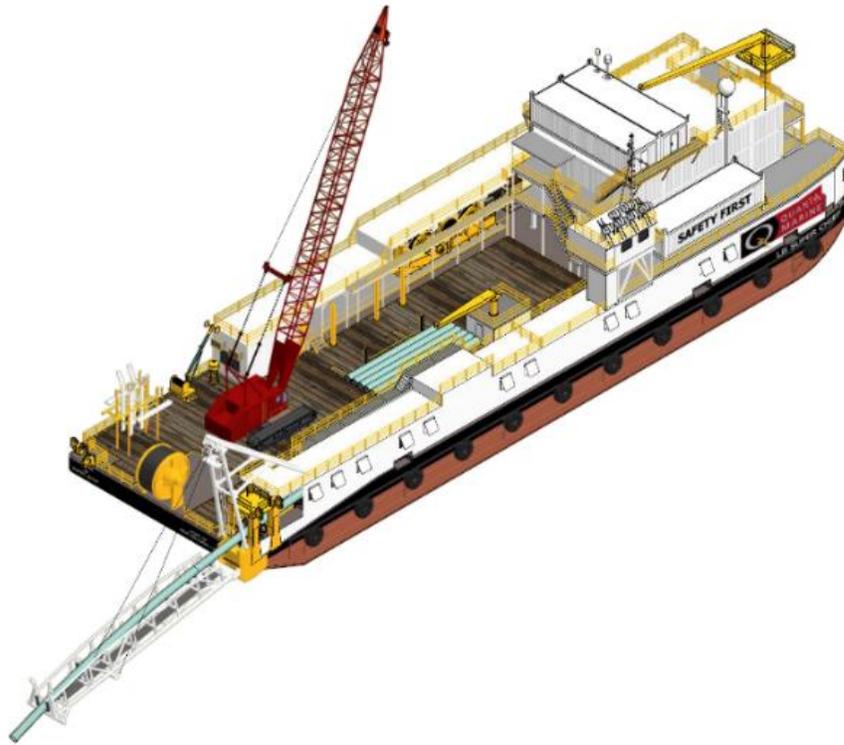
Para a combinação de carregamento estático e dinâmico, a tensão equivalente na *sagbend* e na ponta do *stinger* devem satisfazer o seguinte critério dado pela equação (2.22).

$$\sigma_{eq} < 0,87f_y \quad (2.22)$$

### 2.11 Barcaças de lançamento *S-lay* 2ª geração

Como discutido brevemente no tópico 2.3.1.1 deste trabalho, as barcaças de lançamento *S-lay* de segunda geração ainda são bastante utilizadas, principalmente em águas rasas. A capacidade máxima de profundidade de operação varia de 60-120 m, com algumas embarcações alcançando os 240 m (KAISER, 2017). A Figura 28 mostra uma vista tridimensional de uma destas embarcações, mostrando diversos equipamentos sobre o convés. A seguir são discutidos os principais equipamentos e como eles estão relacionados com a janela operacional da barcaça.

Figura 28 – Vista em perspectiva da barcaça de segunda geração *Bisso Super Chief*



Fonte: site *Quanta Marine*<sup>11</sup>

### 2.11.1 *Stinger e suportes*

O *stinger* é uma estrutura treliçada (Figura 29) responsável por suportar a tubulação em seus roletes (Figura 30) e, ao mesmo tempo, dar forma à *overbend* através de um controle de inclinação e de altura dos seus suportes e também dos que estão posicionados no convés da embarcação, de maneira que a deformação nesta região não ultrapasse os limites de integridade estrutural. Quanto maior a profundidade do lançamento, maior deve ser o comprimento desta estrutura, entretanto, um *stinger* mais comprido também se torna mais exposto às forças hidrodinâmicas (HERDIYANTI, 2013).

---

<sup>11</sup> Disponível em <[quantamarine.com](http://quantamarine.com)>. Acesso em 20/11/2018

Figura 29 – *Stinger* na proa da embarcação *Audacia*, *Allseas*



Fonte: site *De Nachtdienst Fotografie*<sup>12</sup>

Figura 30 – Roletes dos suportes do *stinger*



Fonte: site *Royal IHC*<sup>13</sup>

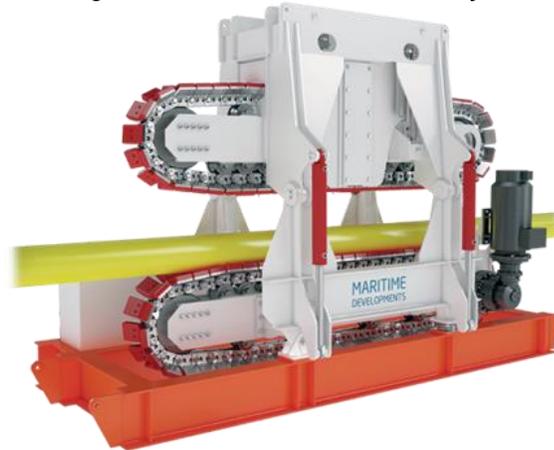
### 2.11.2 Tracionador

Como o próprio nome sugere, o tracionador é um equipamento responsável por manter a tração na extremidade do duto dentro de uma faixa aceitável, enquanto este é lançado no fundo do mar. O tracionador utiliza duas esteiras que são pressionadas contra a tubulação através de um sistema hidráulico, e motores que controlam a liberação do duto. A Figura 31 mostra um modelo de tracionador desenvolvido para a aplicação em *pipe laying*. Quanto maior a profundidade do lançamento, maior deve ser a capacidade deste equipamento. Além disso, também deve-se levar em conta a resistência do convés que serve de base para este equipamento.

<sup>12</sup> Disponível em <denachtdienst.nl>. Acesso em 20/11/2018

<sup>13</sup> Disponível em <royalihc.com>. Acesso em 20/11/2018

Figura 31 – Tracionador de tubulação



Fonte: site *Maritime Developments*<sup>14</sup>

### 2.11.3 Guincho, cabo e âncora

O guincho (Figura 32) é uma máquina utilizada para rebocar cargas, por meio de tração, e é formado por um ou mais tambores, onde se enrola um cabo de aço. Na embarcação de lançamento, os guinchos são utilizados para o controle da tração nos cabos de ancoragem e movimentação da embarcação. A movimentação ocorre como apresenta a Figura 33. Nesta figura, cada linha é representada em diferentes posições pelo mesmo tracejado. O deslocamento  $\Delta x$  deve ser maximizado, de forma que sejam obedecidos os limites do guincho, do comprimento de cabo disponível, e da âncora.

---

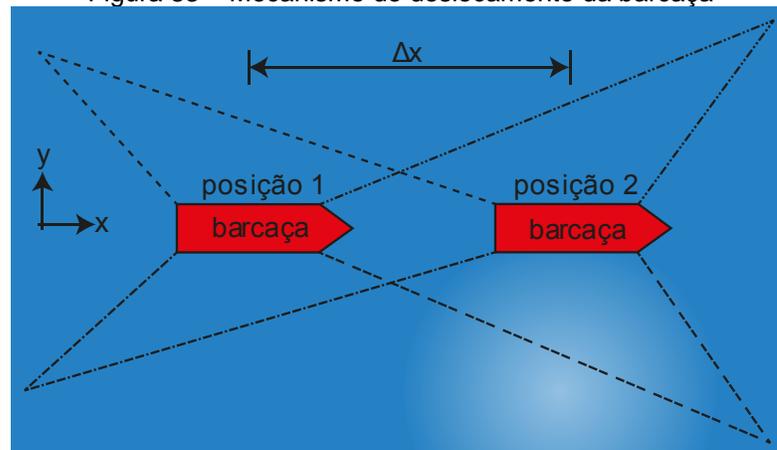
<sup>14</sup> Disponível em <[maritimedevelopments.com](http://maritimedevelopments.com)>. Acesso em 20/11/2018

Figura 32 – Guincho de tambor duplo



Fonte: site *Bezemer*<sup>15</sup>

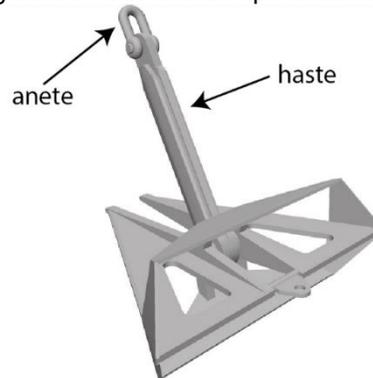
Figura 33 – Mecanismo de deslocamento da barça



Fonte: autor

A âncora (Figura 34) também introduz um fator limitante. A componente vertical da força no anete não deve ultrapassar o necessário para levantar a haste, pois levantamento deste componente ocasiona o desprendimento da âncora do leito marinho.

<sup>15</sup> Disponível em <bezemer.com>. Acesso em 20/11/2018

Figura 34 – Âncora do tipo *delta flipper*Fonte: adaptado do site *Ocean Pro*<sup>16</sup>

## 2.12 Método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos (MEF) consiste na subdivisão de um problema em partes menores e mais simples, denominadas elementos finitos, de modo a transformar um conjunto complexo de equações diferenciais em um sistema de equações algébricas, que resolvidas numericamente fornecem um resultado aproximado para a solução analítica.

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós. O conjunto total de nós e elementos recebe o nome de malha. A precisão do método dos elementos finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. De um modo geral, quanto menor for o tamanho dos elementos e maior o número deles em uma malha, maior a precisão nos resultados da análise.

Este método é bastante utilizado em análise estrutural, para a obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, mas também pode ser aplicado para análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluidos. Atualmente já existe uma diversidade de *softwares* comerciais que utilizam este método, como é o caso do *Orcaflex*, programa que será utilizado neste trabalho e apresentado no tópico 2.13.

---

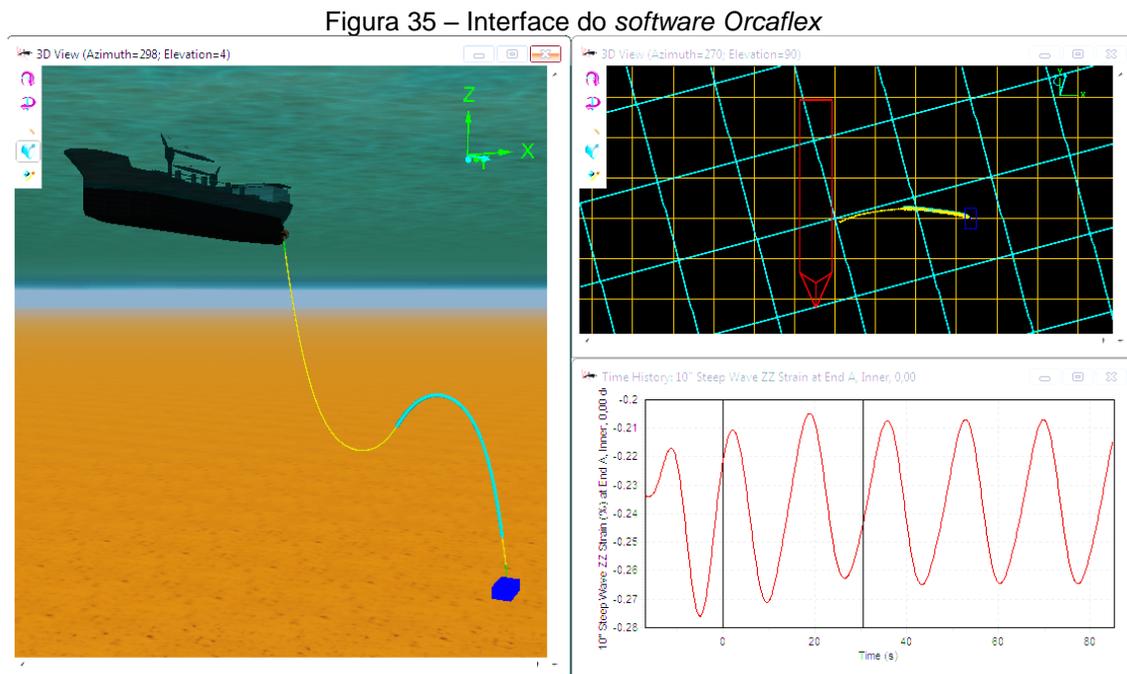
<sup>16</sup> Disponível em <[oceanpro.com.my](http://oceanpro.com.my)>. Acesso em 20/11/2018

## 2.13 Orcaflex

Como discutido no t3pico 2.2.1, o projeto atrav3s da an3lise 3 essencial para o estudo vi3vel de lan3amento de dutos *offshore*. A ferramenta que 3 utilizada neste trabalho 3 o *software Orcaflex* na vers3o 9.8e (vide interface do programa na Figura 35), que 3 um pacote diversificado para avalia3o est3tica e din3mica de sistemas *offshore*.

Os coeficientes e for3as hidrodin3micas do sistema flutuante, calculados atrav3s de outros *softwares* (*Aqwa*, *Wamit*, etc), s3o inseridos como dados de entrada no *Orcaflex*. Elementos esbeltos, como cabos de ancoragem, *risers* e tubula3es, s3o discretizados em elementos finitos, e est3o submetidos 3 for3a de arrasto calculada atrav3s da formula3o de Morison.

Este programa possui uma s3rie de ferramentas que podem ser utilizadas para an3lise de lan3amento de dutos. 3 poss3vel realizar a an3lise din3mica da embarca3o lan3adora com o sistema de ancoragem, investigar o comportamento estrutural do duto conforme a norma da DNVGL e obter dados dos valores de tra3o no duto, linhas de ancoragem e 3ncora.



Fonte: autor

### 3 METODOLOGIA

Alinhado com os objetivos do trabalho, a metodologia proposta visa esclarecer:

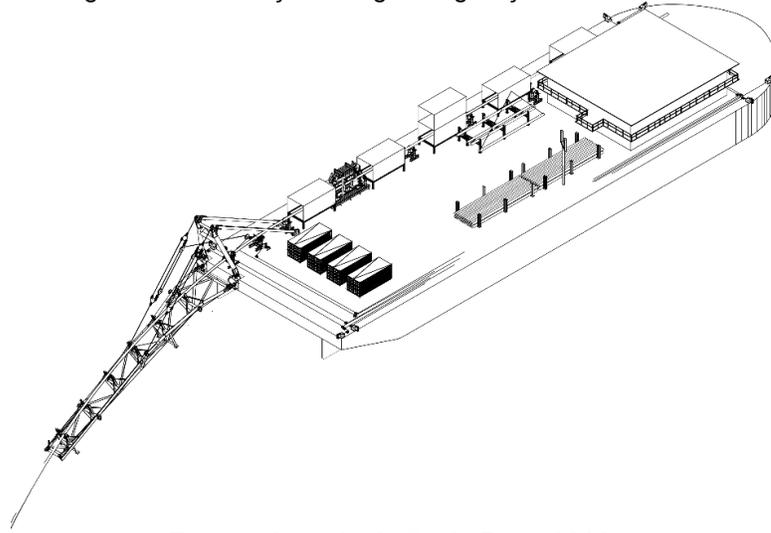
1	Dados do projeto da barcaça	7	Modelo <i>Orcaflex</i>
2	Propriedades do duto	8	Convergência de malha do duto
3	Condições operacionais	9	Análise estática
4	Configuração referencial	10	Análise quase-dinâmica
5	Estabilidade intacta	11	Análise quase estática
6	Análise hidrodinâmica	12	Análise dinâmica

A ideia de fazer a análise em várias etapas é otimizar o tempo e os recursos computacionais disponíveis, filtrando sucessivamente os dados a serem utilizados por cada uma delas.

#### 3.1 Dados do projeto da barcaça

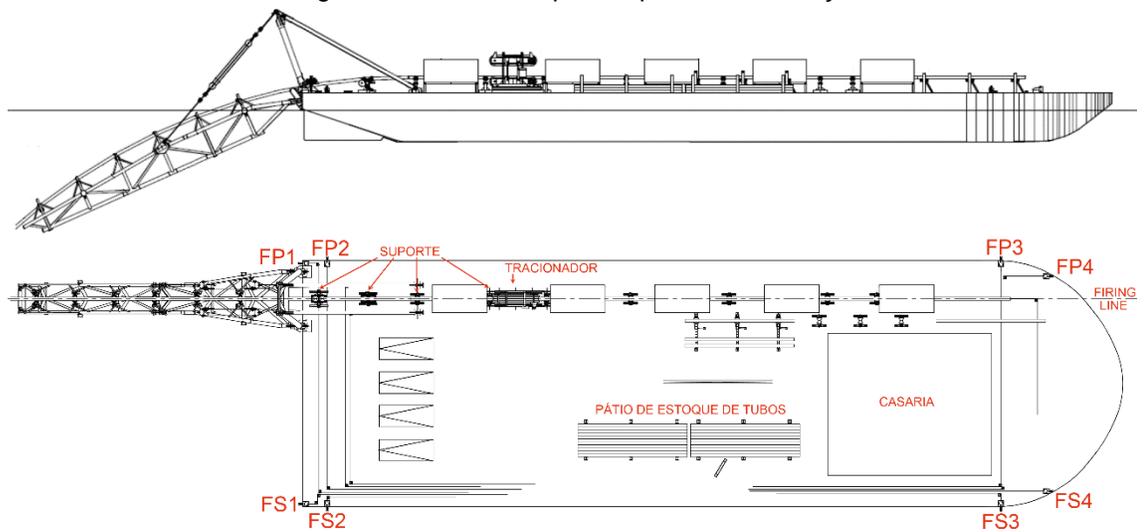
A seguir são apresentadas as principais características da barcaça de 2ª geração adotada neste trabalho. A maior parte das informações de projeto foram fornecidos pelo orientador. Estes dados são compilações de 3 barcaças semelhantes operadas pela *Savia Peru: Perla, Oro e Plata*. As propriedades de massa tiveram que ser estimadas por desconhecimento dos seus reais valores. A Figura 36 mostra uma vista em perspectiva de um dos modelos que serviu de alimento para o trabalho. A Figura 37 exhibe a mesma barcaça, porém nas vistas de perfil e de planta.

Figura 36 – Barcaça de segunda geração deste trabalho



Fonte: adaptado de Savia Peru (2011)

Figura 37 – Vistas de perfil e planta da barcaça

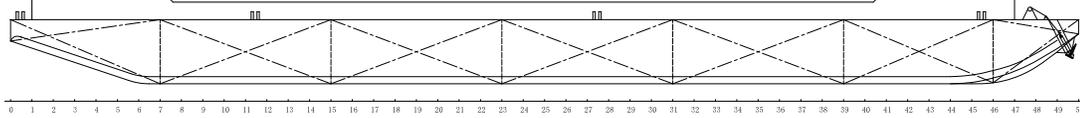


Fonte: adaptado de Savia Peru (2011)

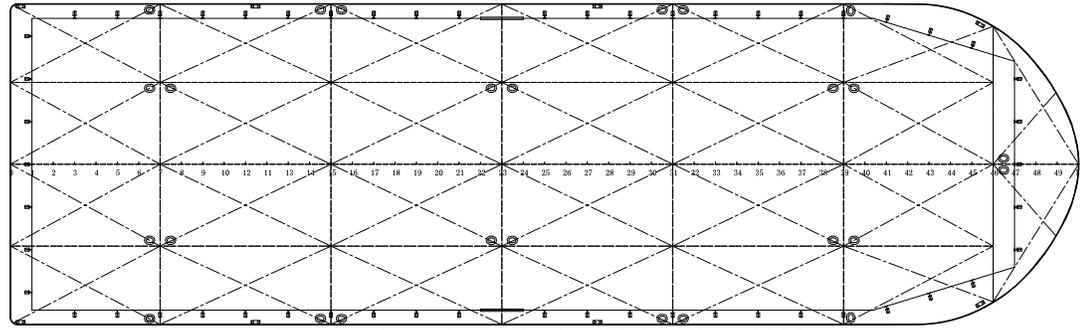
### 3.1.1 Casco

O casco desta barcaça é um modelo comum fabricado por estaleiros chineses. A Figura 38 mostra o arranjo geral e a Tabela 4, as dimensões principais. Com estas informações foi possível fazer um modelo CAD tridimensional do casco, no *software Rhinoceros*, como expõe a Figura 39.

Figura 38 – Arranjo geral do casco da barçaça  
vista de perfil



vista de planta

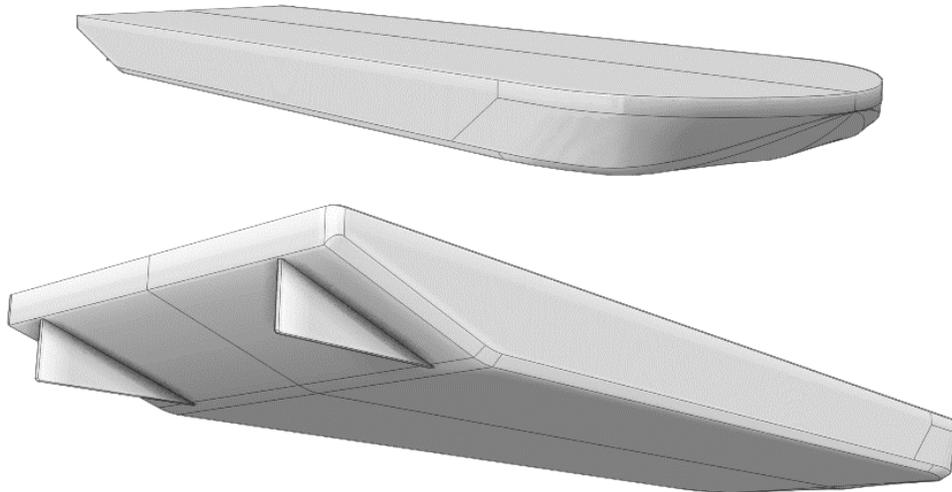


Fonte: adaptado de Sanfu Shipbuilding (2008)

Tabela 4 – Dimensões principais da barçaça

Comprimento (m)	91,44
Boca (m)	27,43
Pontal (m)	5,49
Calado (m)	3,50

Figura 39 – Modelo CAD 3D do casco da barçaça feito no *Rhinoceros*



Fonte: autor

### 3.1.2 Propriedades de massa

As propriedades de massa: inércia e centro de gravidade serão estimadas a partir de embarcação semelhante (YADAV; VISWANATHAN; ARUNPRASATH, 2016).

#### 3.1.2.1 Inércia de massa

BHATTACHARYYA (1978) estabelece uma relação proporcional entre os raios de giração e as dimensões de comprimento e boca de embarcações semelhantes da seguinte forma:

$$\begin{cases} k_{xx} \propto B \\ k_{yy} \propto L \\ k_{zz} \propto L \end{cases} \quad (3.1)$$

A partir das características da barça semelhante, os raios de giração são estimados conforme é apresentado na Tabela 5. Os termos cruzados da matriz de momento de inércia serão desprezados, pois geralmente representam valores muito menores que os momentos de inércia nos eixos x, y e z.

Tabela 5 – Estimativa dos raios de giração da inércia de massa

referência			barça deste trabalho		
L	79,40	m	L	91,44	m
B	35,35	m	B	27,43	m
kxx	10,10	m	kxx	7,80	m
kyy	27,10	m	kyy	31,20	m
kzz	25,60	m	kzz	29,50	m

#### 3.1.2.2 Centro de gravidade

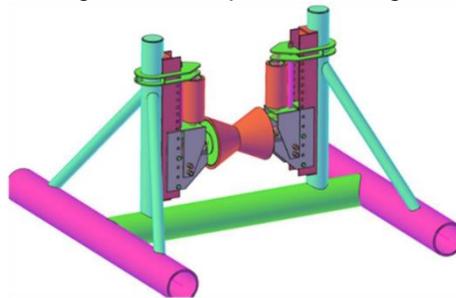
Para manter trim e banda iguais a zero, o LCG deve ser igual ao LCB e o TCG deve ser igual à zero. Quanto ao VCG, BARRASS (2004) admite que para projeto preliminar, uma relação entre o VCG e o pontal é aproximadamente constante para embarcações semelhantes. Portanto o VCG é estimado conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa do VCG

referência			barcaça deste trabalho		
D	4,27	m	D	5,49	m
VCG	4,78	m	VCG	6,14	m

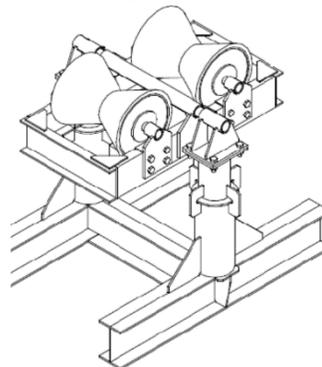
### 3.1.3 *Stinger* e suportes

O *stinger* desta barcaça possui seis suportes de rolete, identificáveis na Figura 42. O convés da embarcação possui quatro suportes, indicados na Figura 37. Os suportes do *stinger* são formados por três roletes (Figura 40), um para sustentar a tubulação e os outros dois para conter os movimentos laterais. Os últimos dois suportes da barcaça são formados por duplos roletes para sustentar o duto (Figura 41). Os outros dois suportes da barcaça são constituídos de rolete simples.

Figura 40 – Suportes do *stinger*

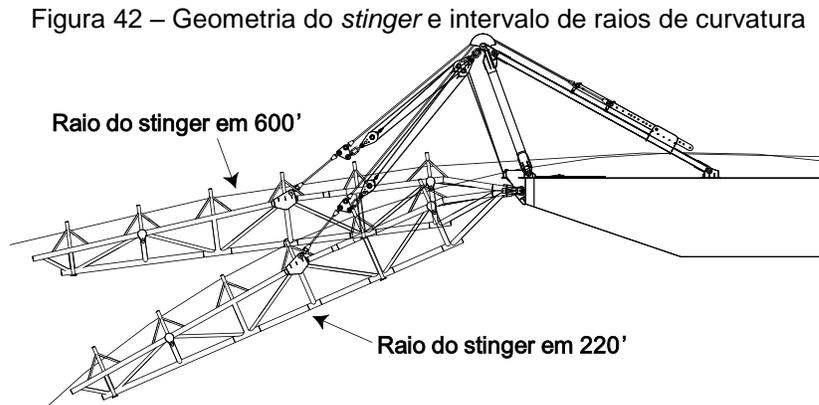
Fonte: adaptado de Savia Peru (2011)

Figura 41 – Suportes de rolete duplo



Fonte: adaptado de Savia Peru (2011)

O *stinger* é articulado na popa da barça e sua posição angular é ajustada em termos de raio de curvatura. Os possíveis raios do *stinger* são 220, 250, 275, 300, 350, 400, 450, 500 e 600 pés. A Figura 42 mostra uma visualização do menor e maior valor admissível para o raio. As posições dos suportes, suas dimensões, e os raios do *stinger* foram carregados no *Orcaflex*, conforme os dados do apêndice 8.3.



Fonte: adaptado de Savia Peru (2017)

#### 3.1.4 Tracionador

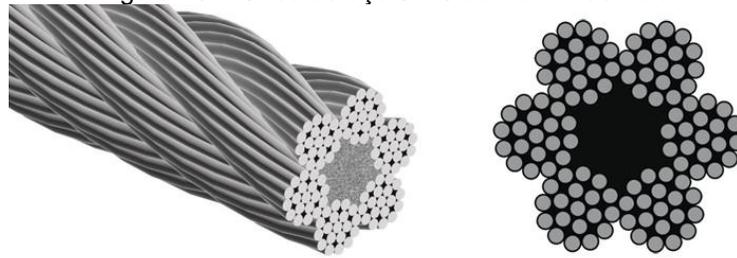
A barça possui apenas um tracionador, como mostra a vista de perfil da Figura 37. Já levando em consideração fatores de segurança e também a resistência do convés, a força máxima que pode ser suportada pelo tracionador é de 235 kN, conforme as informações do projeto da barça.

#### 3.1.5 Guincho, cabo e âncora

A barça possui quatro guinchos de tambor duplo, um para cada dois *fairleads*. Também já considerando os devidos fatores de segurança, a força máxima que pode ser suportada pelo guincho é de 147 kN para cada tambor, ou melhor, para cada um dos *fairleads*, indicados na Figura 37 pelos pontos F#, conforme dados de projeto.

É considerado um cabo de aço de comprimento máximo de 1000 m (capacidade máxima do tambor do guincho), 35 mm de diâmetro, classe 6x19 com alma de fibra (Figura 43). A tração máxima que pode ser aplicada na linha é bem superior à capacidade do guincho, portanto esta não é um fator limitante. A componente vertical da força exercida no anete da âncora não deve ultrapassar 14,7 kN.

Figura 43 – Cabo de aço 6x19 com alma de fibra



Fonte: site SWR<sup>17</sup>

### 3.2 Propriedades do duto

O duto que é considerado nas análises possui as seguintes propriedades:

- Seção do duto: Diâmetro externo 12,75", espessura 0,5";
- Material: API 5L X52;
- $SMYS = 358 \text{ MPa}$  (Tabela 15);
- $E = 200 \text{ GPa}$ ;
- $\rho = 7,85 \text{ t/m}^3$ .

Todas as outras propriedades (rigidez à flexão, torção, peso linear, etc) são calculadas automaticamente pelo *Orcaflex* com base nos dados acima.

### 3.3 Condições operacionais

A seguir são apresentadas as características do lançamento analisado: condições ambientais e critérios DNVGL.

#### 3.3.1 Condições ambientais

As condições ambientais escolhidas para o lançamento podem ser aplicadas em qualquer região do mundo que possua as seguintes características:

- Profundidade do mar: 150m;
- Intervalo de períodos de pico e variação:
  - $T0 = 2 \text{ s}$ ;

<sup>17</sup> Disponível em < [steelwirerope.com](http://steelwirerope.com)>. Acesso em 04/12/2018

- $T1 = 13$  s;
- $\Delta T = 1$  s.
- Intervalo de direções de incidência e variação:
  - $\mu 0 = 0^\circ$ ;
  - $\mu 1 = 330^\circ$ ;
  - $\Delta\mu = 30^\circ$ .

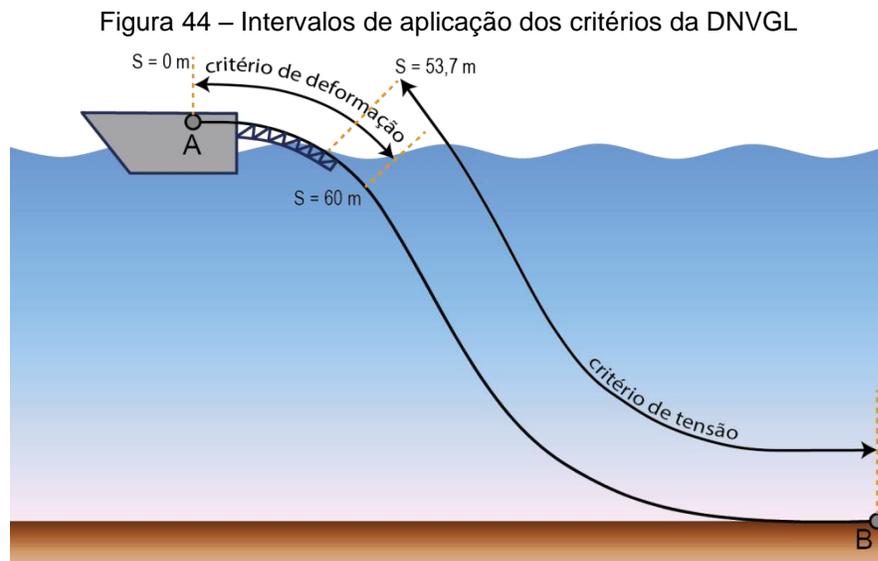
### 3.3.2 Critérios DNVGL

Como consequência das propriedades do material e das condições de lançamento, a DNVGL determina o seguinte:

- $f_{y,temp} = 0$  (Figura 27);
- $\alpha U = 0,96$  (Tabela 2);
- $f_y = 343,68$  MPa (equação (2.21));
- $\epsilon_{eq} \leq 0,205\%$  nas análises estática e quase-estática (Tabela 3);
- $\epsilon_{eq} \leq 0,26\%$  nas análises quase-dinâmica e dinâmica (Tabela 3);
- $\sigma_{eq} \leq 299$  MPa (equação (2.22));
- tempo de simulação em mar irregular = 3 h.

Como esclarecido na fundamentação teórica (tópico 2.10.2), o critério de deformação deve ser aplicado na *overbend*, enquanto que o critério de tensão deve ser aplicado na ponta do *stinger* e na *sagbend*. A intenção da norma de avaliar a deformação na *overbend* é limitar a curvatura assumida pelo duto nesta região devido à ação dos suportes. Já o critério de tensão aplicado na ponta do *stinger* (isto é, no último rolete do *stinger*) e na *sagbend* tem o objetivo de evitar a flambagem nestas regiões.

Para corresponder aos requisitos da norma, o critério de deformação é aplicado para a seção do duto que vai do tracionador (ponto A na Figura 44) até 60 m de comprimento, o que compreende todos os suportes da embarcação. O critério de tensão é avaliado desde o ponto médio entre os dois últimos suportes do *stinger*, que está em 53,7 m a partir do tracionador, até o fim da tubulação (ponto B na Figura 44). Estes intervalos estão ilustrados na Figura 44.

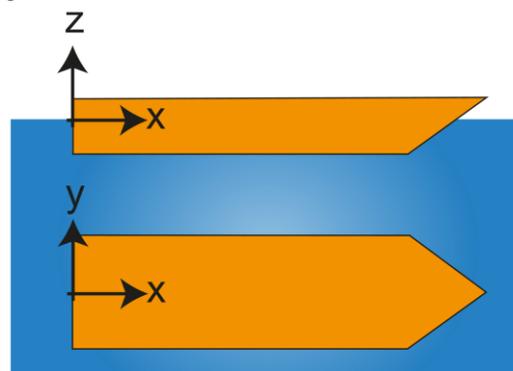


Fonte: autor

### 3.4 Configuração referencial

A configuração referencial é o ponto de partida das análises realizadas neste trabalho. É em torno dela que são realizadas todas as alterações para otimização da janela operacional. O sistema de coordenadas da barcaça (Figura 45) possui a origem na interseção entre linha de centro, linha d'água e perpendicular de popa.

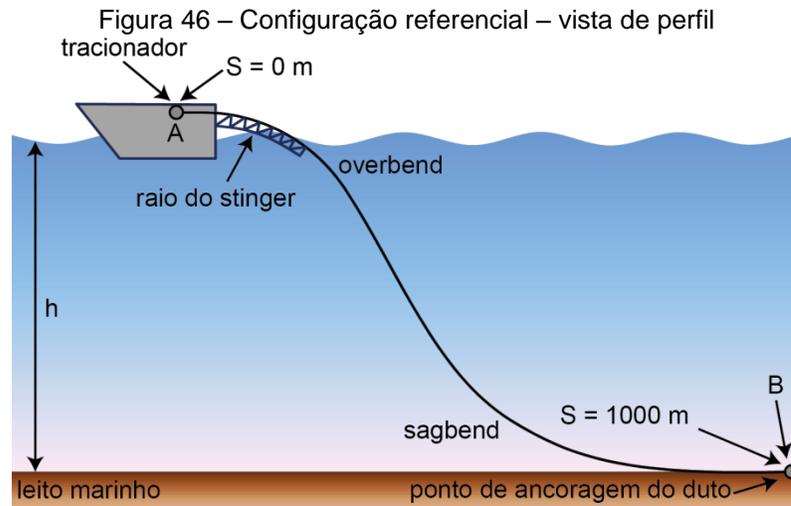
Figura 45 – Sistema de coordenadas da barcaça



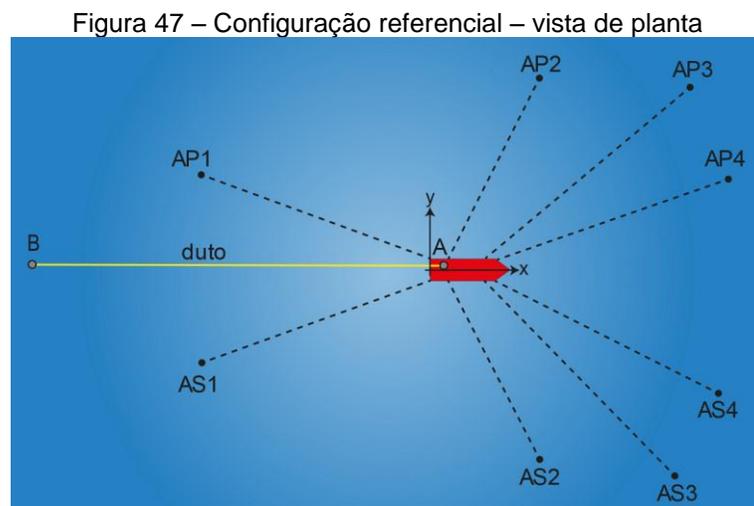
Fonte: autor

A configuração referencial possui o duto com 1000 m de comprimento, com sua extremidade superior ligada ao tracionador no ponto A, e extremidade inferior ancorada no ponto B, como exhibe a Figura 46. A partir desta configuração, é possível modificar a

tração em A, aumentando ou diminuindo o comprimento do duto. Este método de modificação da tração é mais fácil de ser implementado no *Orcaflex*.



A configuração referencial também possui as posições das âncoras definidas, como mostra os pontos A# da Figura 47. As coordenadas destes pontos em relação ao sistema da barcaça estão no apêndice 8.4.



### 3.5 Pré-análise

Este capítulo busca abordar algumas considerações preliminares às análises de lançamento.

#### 3.5.1 Estabilidade intacta

A estabilidade intacta é algo importante de ser avaliado. Não é um resultado que faz parte do objetivo principal do trabalho, mas é uma verificação da adequação da posição vertical do centro de gravidade estimado aos critérios de estabilidade intacta da IMO (2008). Isso é feito através das ferramentas do *software Maxsurf*.

#### 3.5.2 Análise hidrodinâmica

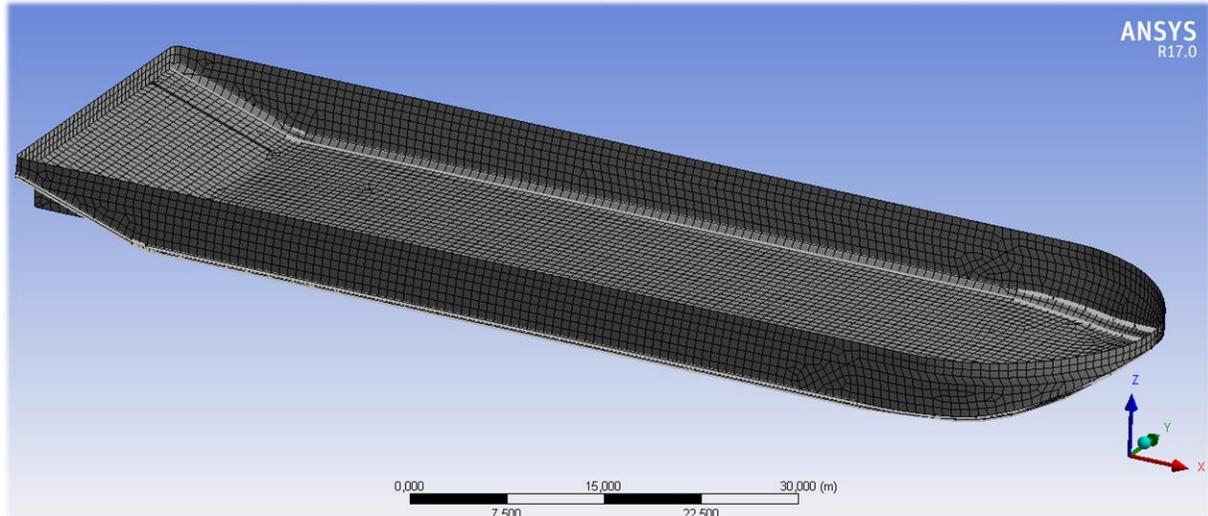
A análise hidrodinâmica tem como objetivo a obtenção dos coeficientes (massa adicional e amortecimento) e forças (Froud-Krylov e difração, e QTF) hidrodinâmicos, e do RAO. A obtenção destes dados é feita através do *software Ansys Aqwa*.

Através da inserção do modelo tridimensional do casco (Figura 39) no *Aqwa*, é possível gerar uma malha suficientemente refinada para captar o intervalo de períodos de onda que são de interesse para as simulações posteriores. Os parâmetros que definem a malha utilizada no trabalho estão na Tabela 7. A Figura 48 mostra o resultado do gerador de malhas do *Aqwa*.

Tabela 7 – Parâmetros da malha

<i>Defeaturing Tolerance</i>	0,6 m
<i>Maximum Element Size</i>	1,2 m
<i>Maximum Allowable Frequency</i>	0,508 Hz
<i>Meshing Type</i>	<i>Combined Meshing</i>
<i>Number of Diffracting Elements</i>	6066

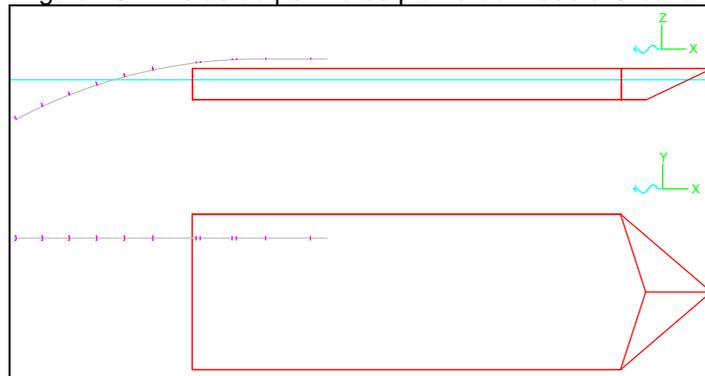
Figura 48 – Malha da barçaça para análise hidrodinâmica



Fonte: autor

### 3.5.3 Modelo Orcaflex

A construção do modelo de lançamento tem início no *Orcaflex* com a insecção de um elemento embarcação (Figura 49). Este elemento é modificado para possuir as dimensões corretas (Tabela 4). Nele são adicionados os suportes da barçaça e do *stinger* conforme dados do apêndice 8.3, propriedades de massa e dados hidrodinâmicos. Nesta etapa também é configurada a profundidade do leito marinho (item 3.3.1).

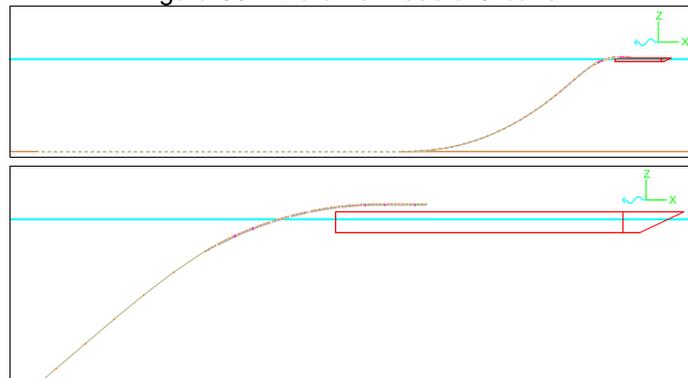
Figura 49 – Vistas de perfil e de planta do modelo *Orcaflex*

Fonte: autor

Um elemento de linha é inserido para representar o duto (Figura 50). Neste são adicionadas as propriedades de seção transversal (diâmetros externo e interno), comprimento, material e critérios DNVGL. Uma das extremidades é presa ao tracionador, e a

outra é ancorada de forma a corresponder à configuração referencial (vide Tabela 18). É desconsiderado o atrito entre o duto e o leito marinho.

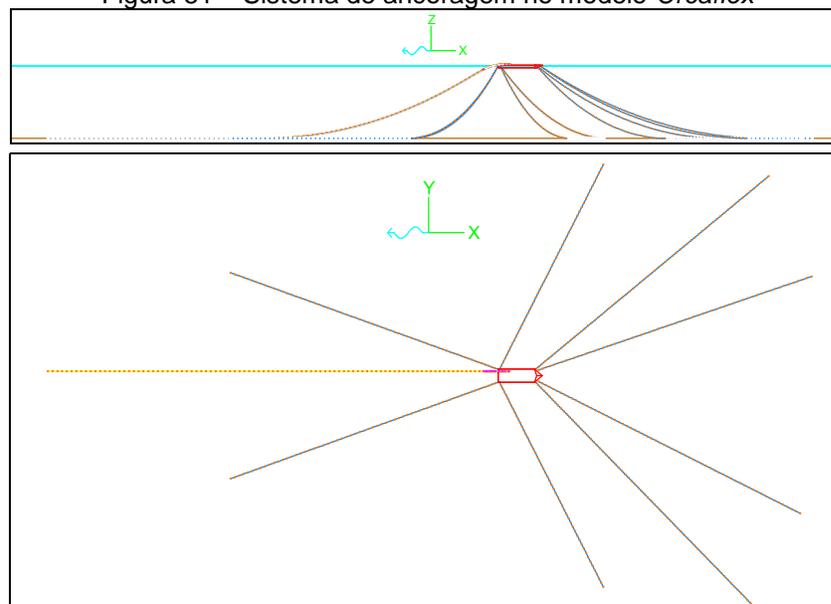
Figura 50 – Duto no modelo *Orcaflex*



Fonte: autor

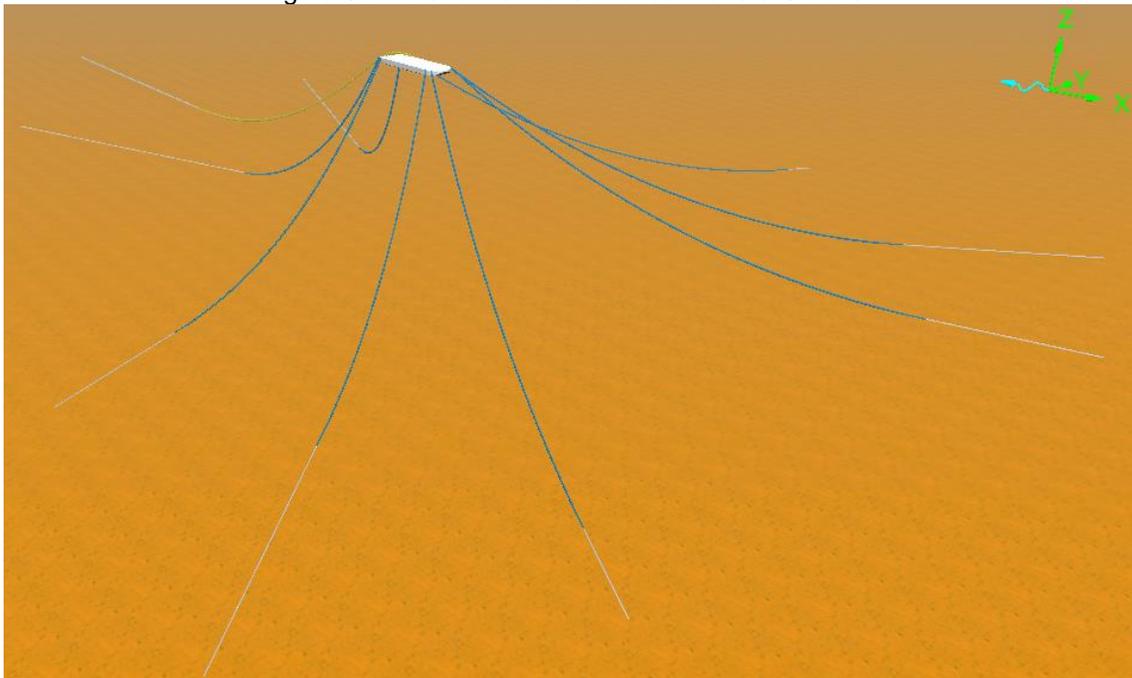
Mais oito elementos de linha são adicionados para representarem os cabos de ancoragem (Figura 51). Estes recebem as propriedades de seção transversal (diâmetro e classe) e comprimento. Cada uma das linhas é ligada aos *fairleads* e pontos de ancoragem correspondentes (Tabela 19).

Figura 51 – Sistema de ancoragem no modelo *Orcaflex*



Fonte: autor

Uma vista tridimensional com todos os elementos é exibida na Figura 52.

Figura 52 – Visão tridimensional do modelo *Orcaflex*

Fonte: autor

Deixou-se o programa trabalhar com as suas configurações padrões para as análises estática e dinâmica, como expõe a Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros do cálculo numérico executado pelo *Orcaflex*

<i>Statics</i>			
<i>Max Iterations</i>	<i>Tolerance</i>	<i>Min Damping</i>	<i>Max Damping</i>
400	1,00E-06	1	10
<i>Dynamics</i>			
<i>Precision</i>	<i>Target Sample Interval (s)</i>	<i>Actual Sample Interval (s)</i>	<i>Integration Method</i>
Single	0,1	0,1	Implicit

#### 3.5.4 Teste de convergência de malha do duto

O *Orcaflex* trabalha com o método dos elementos finitos, logo é necessário determinar uma malha para representar adequadamente o nível de tensões e deformações no duto, sem exigir demais dos recursos computacionais disponíveis.

É analisada a influência do tamanho do elemento de malha nos resultados de tração, tensão e deformação. Para isso, são utilizados três pontos de interesse:

- A extremidade do duto ligada ao tracionador, em  $S = 0$  m;
- Um ponto na *overbend*, escolhido propositalmente na região de contato com um dos suportes, em  $S = 45,5$  m;
- Um ponto da *sagbend*, em  $S = 300$  m.

Cada um destes pontos é estudado variando-se o tamanho do elemento de malha em 10, 5, 2, 1 e 0,5 m de comprimento. A convergência de malha é avaliada em relação ao resultado do elemento de menor tamanho (i.e., 0,5m), pois admite-se este como a solução mais precisa. O critério de convergência leva em consideração a importância de cada uma das regiões analisadas no resultado do trabalho.

A convergência é avaliada em um teste estático, um teste quase-dinâmico em onda regular e um teste dinâmico em onda irregular. O teste estático é avaliado para um raio de *stinger* igual 300 pés e um comprimento de linha igual a 988 m. O quase-dinâmico é realizado para a mesma configuração do teste estático, porém introduzindo uma resposta harmônica em ondas regulares de altura igual a 1 m, período 4 s e direção de incidência igual a  $210^\circ$ , com duração de dois períodos de onda. O teste dinâmico é realizado para a mesma configuração e propriedades de onda, porém em mar irregular com o espectro ISSC e com duração de 60 s.

### 3.6 Análise estática

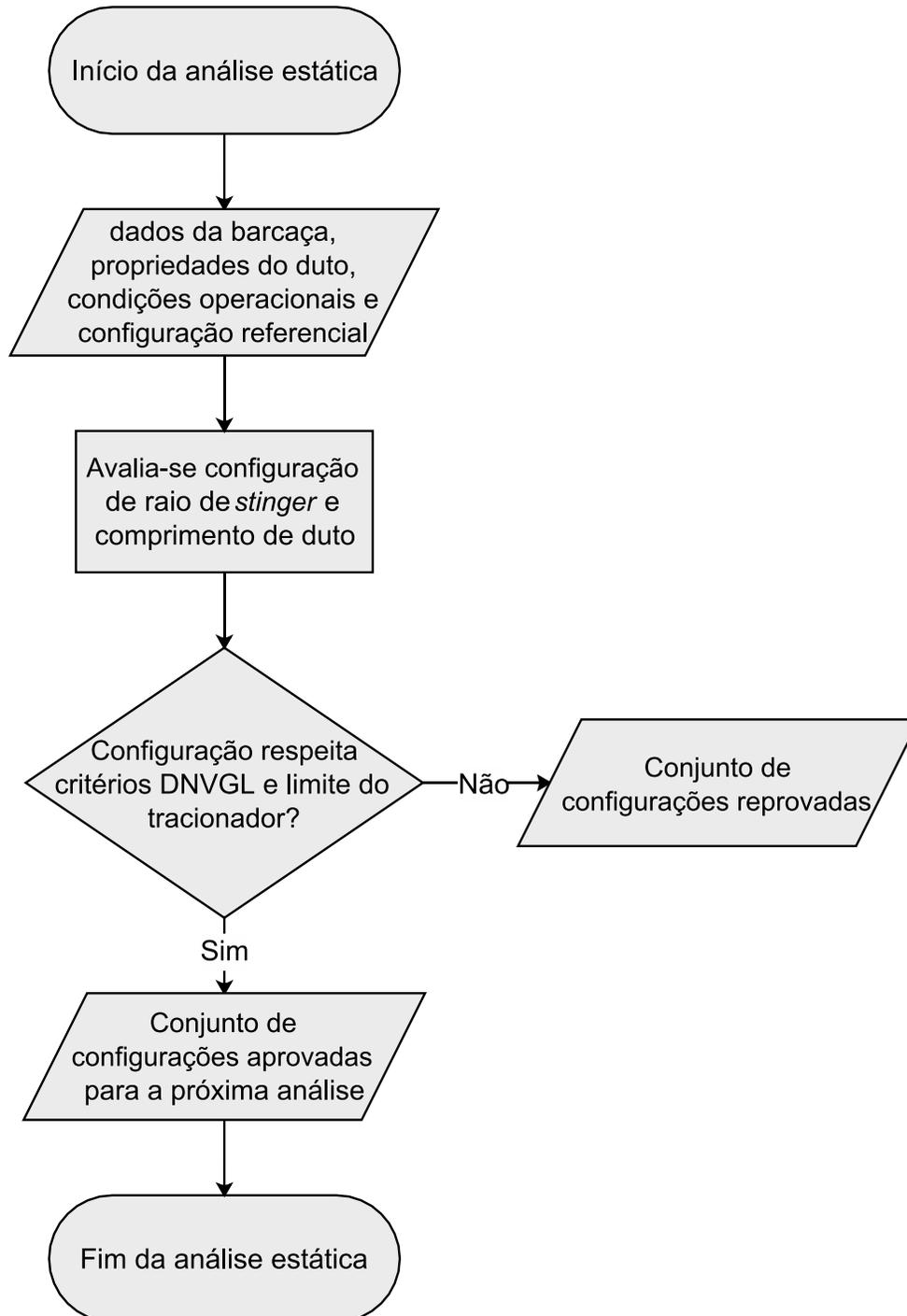
A análise estática avalia o comportamento de diferentes configurações de lançamento. Define-se aqui uma configuração de lançamento como uma combinação de raio de *stinger* com tração aplicada no duto. O objetivo da análise estática é selecionar somente as configurações que obedecem aos critérios estabelecidos pela norma DNVGL e o limite do tracionador.

As configurações analisadas variam o raio de *stinger* dentre os valores fixos estabelecidos no tópico 3.1.3, totalizando 9 raios de *stinger* diferentes. É adotada uma variação sucessiva de 1 m de 975 a 1010 m, resultando em 36 comprimentos de linha

diferentes para cada raio de *stinger*. No total, são analisadas 324 configurações diferentes na análise estática. Um fluxograma indicativo do método é exibido na Figura 53.

Dentro das definições do tópico 2.4, a análise estática possui as seguintes características: parte-se da hipótese de que o sistema de ancoragem está funcionando adequadamente e, portanto, a força aplicada pelo duto não desloca a embarcação; não há carregamento variando no tempo.

Figura 53 – Fluxograma da análise estática



Fonte: autor

### 3.7 Análise quase-dinâmica

As configurações aprovadas na análise estática são carregadas para a análise quase-dinâmica, onde será estudado o comportamento em ondas de cada uma delas. Essa análise é realizada em duas etapas: análise em onda regular e análise em onda irregular.

Dentro das definições do tópico 2.4, a análise quase-dinâmica possui as seguintes características: parte-se da hipótese de que o sistema de ancoragem está funcionando adequadamente e, portanto, a força aplicada pelo duto não influencia no deslocamento da embarcação. A barcaça sofre carregamentos que variam no tempo (forças de primeira ordem), entretanto é permitido a ela apenas os graus de liberdade *heave*, *roll* e *pitch*; a barcaça se movimenta conforme os valores de RAO obtidos da análise hidrodinâmica, ou seja, não é considerada a influência do duto na resposta da embarcação, mas considera-se a influência da barcaça no comportamento do duto. Isto acontece porque, na obtenção dos dados hidrodinâmicos da barcaça, feita no *Aqwa*, não há a presença do duto.

#### 3.7.1 Análise quase-dinâmica em onda regular

O objetivo da análise quase-dinâmica em onda regular é filtrar o conjunto de ondas que são viáveis de serem analisadas em mar irregular, pois este último é mais custoso computacionalmente. Além disso, esta etapa também ajudará a selecionar um intervalo mais restrito de configurações ótimas de lançamento.

Nesta parte se escolhe um conjunto de alturas de onda para dar início à análise. Esse conjunto é dado na Tabela 9. Apesar de algumas relações (altura, período) se encaixarem melhor nas teorias de Stokes (vide Figura 19), a teoria de Airy já fornece o resultado que interessa, que são as respostas da tração, tensão e deformação em função da amplitude da onda.

Uma avaliação preliminar importante é classificar a ocorrência das ondas em águas rasas, de profundidade intermediária, ou profundas. Para isso é necessário calcular o comprimento de onda e utilizar a Tabela 1 como referência. Para obter o comprimento de onda a partir dos períodos ( $T$ ) definidos no tópico 3.2, utiliza-se a relação de dispersão, apresentada na equação (2.3). A solução desta equação para cada um dos

períodos fornece os valores do comprimento de onda, como mostra a 2ª coluna da Tabela 9. Por esses valores é possível perceber que todas as ondas se encaixam na situação de águas profundas.

Outra avaliação a ser feita é a de altura de quebra. Para águas profundas, a onda quebra quando a relação entre a altura ( $H$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é maior que o critério estabelecido na equação (2.7).

O valor da relação entre a altura ( $H$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) é avaliado em cada uma das células coloridas da Tabela 9. As células em vermelho, com um “X”, representam aquelas que não passam no critério de altura de quebra, enquanto que as células de cor verde são aprovadas neste critério e poderão ser utilizadas na análise em onda regular.

Tabela 9 – Alturas e períodos para análise quase-dinâmica em onda regular

T (s)	$\lambda$ (m)	H (m)						
		0,1	1	2	3	4	5	6
2	6,25		X	X	X	X	X	X
3	14,05			X	X	X	X	X
4	24,98					X	X	X
5	39,03							X
6	56,21							
7	76,50							
8	99,92							
9	126,47							
10	156,13							
11	188,92							
12	224,83							
13	263,86							

São avaliadas 69 relações diferentes de altura e período de onda. Lembrando que a direção de incidência varia entre 12 valores possíveis (vide item 3.3.1), tem-se um total de 828 ondas diferentes para serem aplicadas em cada uma das configurações de lançamento aprovadas na análise estática. Para descobrir a fronteira da janela operacional  $Hf(T, \mu)$ , utiliza-se a interpolação linear.

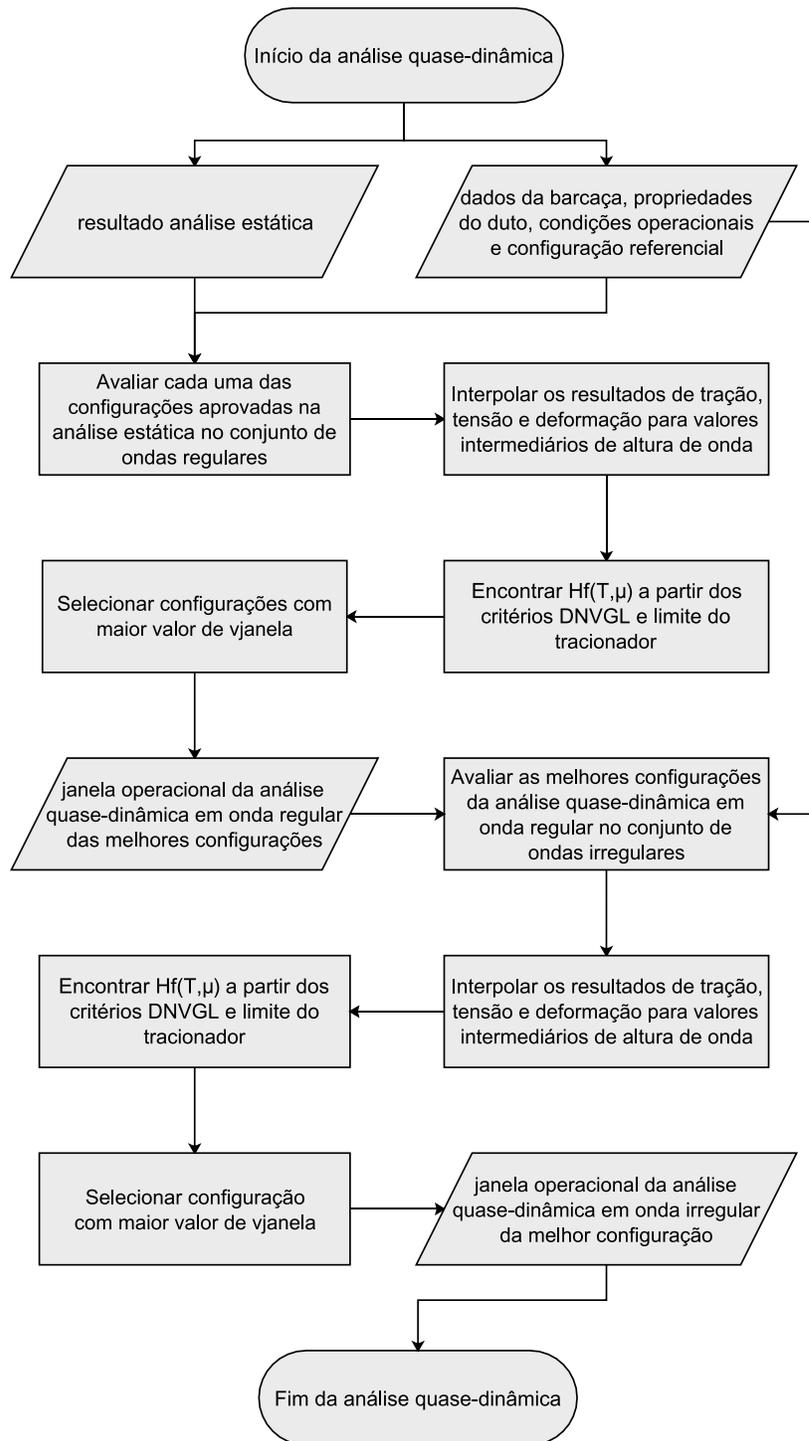
Percebe-se, portanto, que são muitos casos a serem analisados, logo, foi utilizada a seguinte metodologia: sabe-se da literatura (JOURNÉE, 2001) que a resposta da

barcaça (e portanto, do duto) em onda regular possui comportamento periódico com um período igual ao da onda, foi utilizado o dobro deste período de onda como tempo de simulação. O dobro de um período de onda é tempo suficiente para que o duto apresente um pico em cada uma de suas características avaliadas: tração, tensão e deformação. Estes picos são comparados respectivamente com o limite do tracionador e os critérios da DNVGL.

### *3.7.2 Análise quase-dinâmica em onda irregular*

Tendo em mãos as melhores configurações de lançamento da análise em onda regular e a janela operacional obtida nesta análise para cada uma das configurações, o próximo passo é a avaliação em onda irregular. Os períodos e alturas de onda da Tabela 9 agora são tratados respectivamente como períodos de pico e alturas significativas do espectro de onda ISSC. Desta vez o tempo de simulação corresponde a 3 horas de estado de mar, segundo a DNV-GL (2017). Um fluxograma indicativo do método geral da análise quase-dinâmica é apresentado na Figura 54.

Figura 54 – Fluxograma da análise quase-dinâmica



Fonte: autor

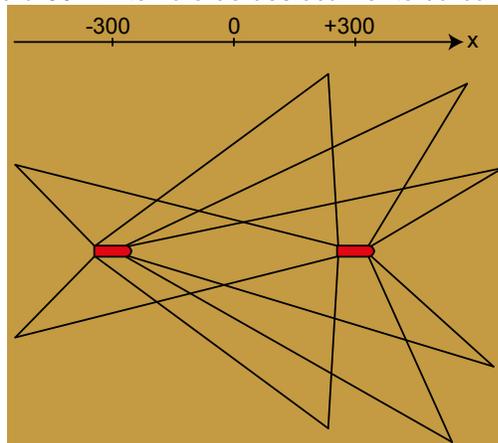
### 3.8 Análise quase-estática

Com a melhor configuração de lançamento e a sua janela operacional obtida da análise quase-dinâmica, a análise quase-estática tem como objetivo verificar se a janela operacional desta configuração é suportada pelo sistema de ancoragem. Nesta etapa o duto não será o alvo do estudo, pois a integridade deste já foi verificada nas análises anteriores.

Dentro das definições do tópico 2.4, a análise quase-estática possui as seguintes características: A barcaça não sofre carregamentos que variam no tempo, porém está sujeita às forças do duto, das linhas de ancoragem e de deriva média.

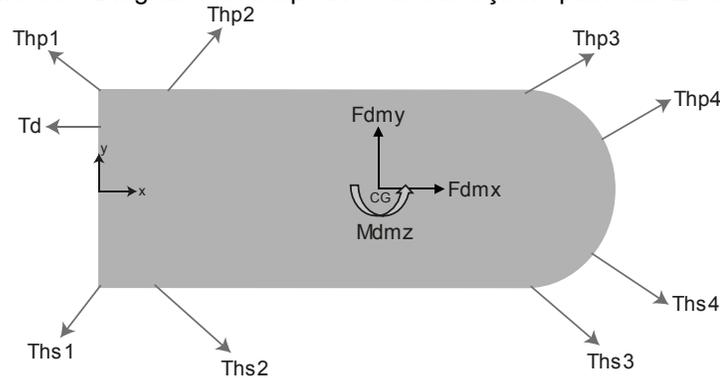
Nesta etapa faz-se o estudo do sistema de ancoragem em diferentes posições da barcaça ao longo do eixo de  $x$ , de -300 m a 300 m, em relação à configuração referencial (Figura 47). Nesse intervalo de deslocamento, cada uma das forças de tração nas linhas de ancoragem é obtida pela solução do sistema de equações da catenária (vide tópico 2.7.1), de forma que seja mantido o equilíbrio de forças no plano horizontal, utilizando o diagrama de corpo livre da barcaça, exibido na Figura 56. No diagrama de corpo livre,  $T_{h\#}$  são as componentes horizontais das trações nos *fairleads*,  $T_d$  é a componente horizontal da força aplicada pelo duto na barcaça, e  $F_{dmz}$ ,  $F_{dmy}$  e  $M_{dmz}$  são os carregamentos de deriva média em *surge*, *sway* e *yaw*, respectivamente, calculados conforme descrito no tópico 2.7.2. O procedimento para determinação da janela operacional quase-estática é explicado abaixo.

Figura 55 – Intervalo de deslocamento da barcaça



Fonte: autor

Figura 56 – Diagrama de corpo livre da barcaça no plano horizontal xy



Fonte: autor

Como dado de entrada, se conhece da análise quase-dinâmica o valor de  $H_f$ , a máxima altura significativa para um par (período  $T$ , direção  $\mu$ ) dentro do domínio determinado no tópico 3.2. Também se têm os dados do sistema de ancoragem: posição dos *fairleads* e posição das âncoras.

Deve-se calcular  $Th\#$  de forma que a barcaça mantenha o equilíbrio de forças e momentos. Os carregamentos de deriva média são calculados para  $H_f(T, \mu)$ , já a força do duto é constante para a configuração utilizada. Mas além disso, também é necessário obedecer aos limites do sistema de ancoragem: capacidade máxima de tração do guincho, máxima componente vertical da força no anete da âncora e comprimento máximo do cabo. As duas primeiras restrições são tratadas aqui com um pequeno fator de segurança, que leva em consideração as cargas dinâmicas do problema. A capacidade máxima do guincho e a máxima componente vertical da força no anete da âncora são limitadas à 90% dos seus valores originais.

No que interessa a análise quase-estática, não é considerada a característica oscilatória da movimentação da barcaça devido às forças e momentos de deriva lenta. Portanto, não se sabe de antemão qual deve ser a mínima componente horizontal de tração na linha de ancoragem de modo que estes movimentos sejam suficientemente suprimidos para não afetar a integridade estrutural do duto ou os equipamentos no convés. Logo, nesta análise é adicionada uma restrição que é a tração mínima na linha. Como não se sabe o valor mais adequado, a janela operacional será computada para mais de um valor de tração mínima, e este conjunto de dados é utilizado para avaliação da influência deste

parâmetro na janela operacional. Os valores de tração mínima a serem estudados são 5, 10, 15, 20 e 25 kN.

O problema passa a ser então um caso de otimização, onde pretende-se minimizar os valores de  $T_{h\#}$  de maneira que as restrições sejam obedecidas. O problema é dado a seguir:

$T_h$ : vetor contendo os valores  $T_{h\#}$ ;

$T_{h,x}$ : vetor contendo as componentes x dos valores  $T_{h\#}$ ;

$T_{h,y}$ : vetor contendo as componentes y dos valores  $T_{h\#}$ ;

$M_z$ : vetor contendo os momentos em z dos valores  $T_{h\#}$ ;

$T_{min}$ : valor mínimo que pode ser assumido por  $T_{h\#}$ ;

$T_{max}$ : valor máximo que pode ser assumido por  $T_{h\#}$ , calculado em função de todas as restrições do sistema de ancoragem.

$$objetivo = \min(T_h) \quad (3.2)$$

$$\sum T_{h,x} = 0 \quad (3.3)$$

$$\sum T_{h,y} = 0 \quad (3.4)$$

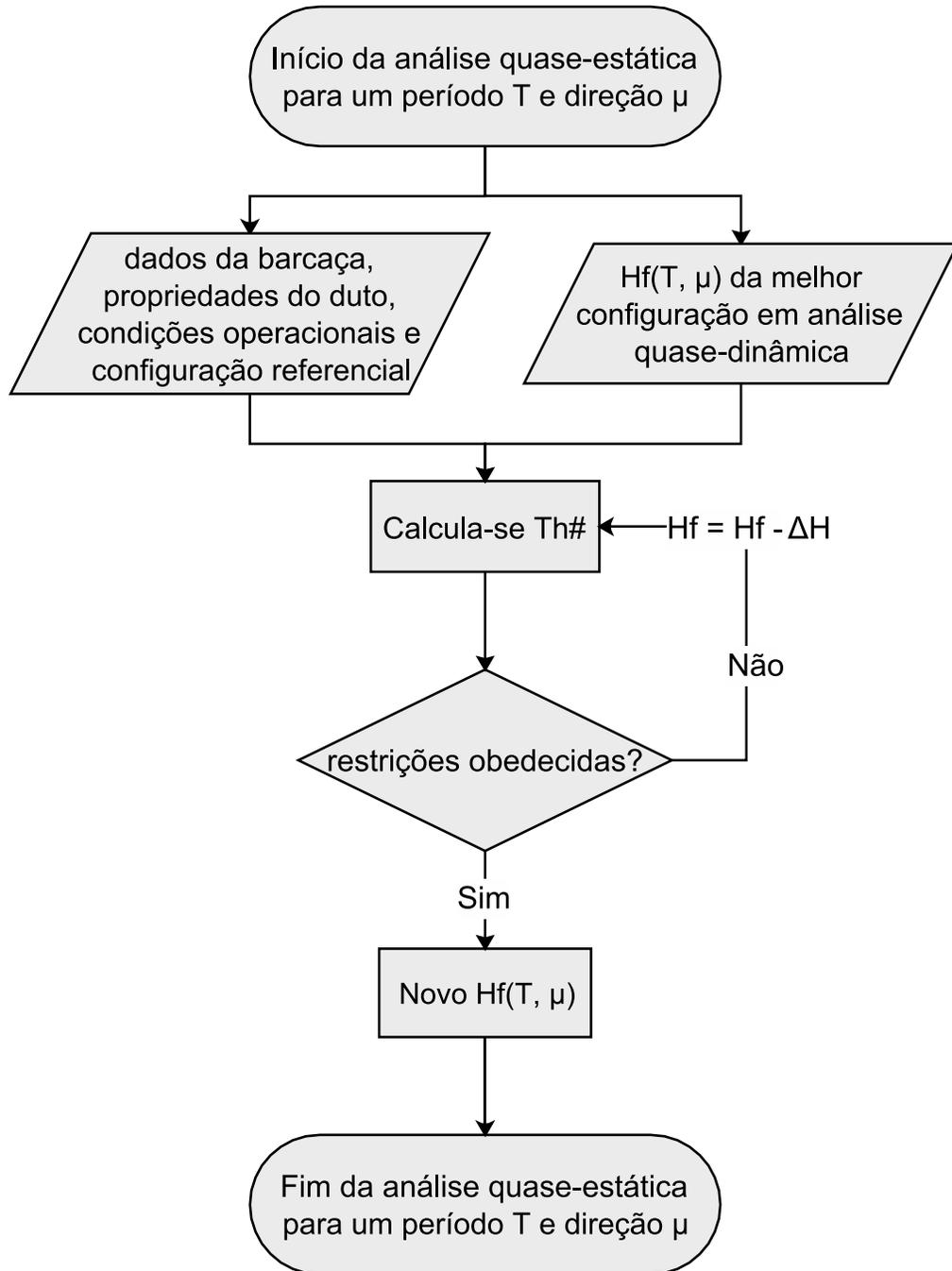
$$\sum M_z = 0 \quad (3.5)$$

$$T_{min} \leq T_{h\#} \leq T_{max} \quad (3.6)$$

Caso o problema não convirja para uma solução otimizada, dentro das restrições, adota-se um novo valor de  $Hf(T, \mu)$  menor que o inicial e o cálculo é refeito. O procedimento é resumido no fluxograma da Figura 57. O código foi escrito em linguagem de programação *Matlab* e é apresentado no apêndice 8.5. Uma breve validação do código é feita no apêndice 8.5.1.

A análise quase-estática já demonstra a complexidade do problema com o sistema de ancoragem, dificuldade que é reforçada nos resultados. Uma definição completa da configuração de lançamento mais adequada também envolveria a determinação do deslocamento e da tração mínima aplicada na linha, de forma a maximizar a janela operacional.

Figura 57 – Fluxograma da análise quase-estática



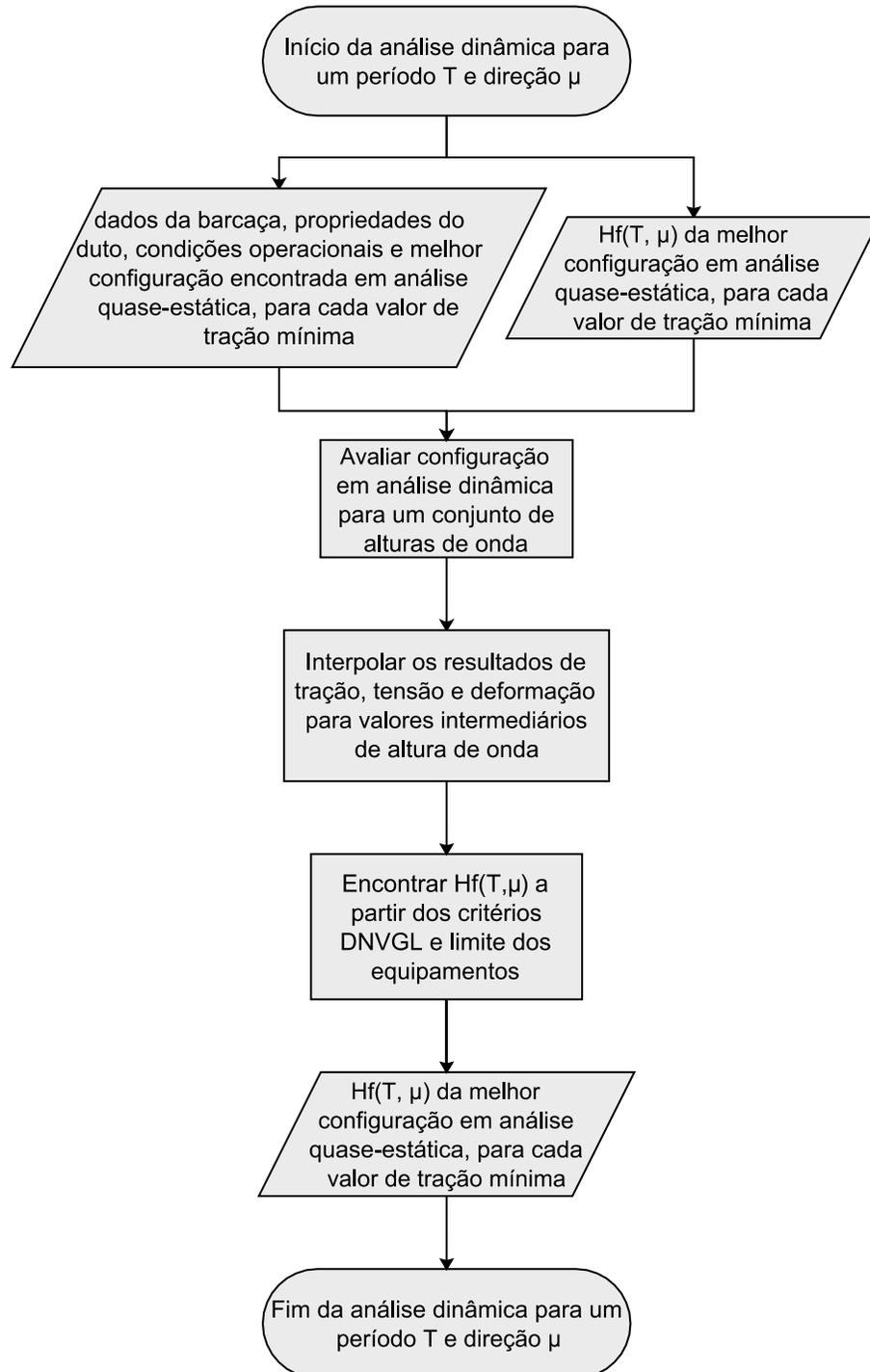
Fonte: autor

### 3.9 Análise dinâmica

Devido à complexidade da análise com o sistema de ancoragem, análise dinâmica serve apenas como uma avaliação da influência do mar irregular na barcaça com o sistema de ancoragem, e como referência para uma avaliação mais completa no futuro.

É investigado o comportamento global da barcaça e a sua influência na integridade estrutural do duto, sem passar os critérios da DNVGL e os limites dos equipamentos. A análise dinâmica utiliza como dado de entrada a mesma configuração de lançamento utilizada na análise quase-estática, porém na posição  $x$  da barcaça que possui a maior janela operacional, com o maior  $Hf(T, \mu)$ , para cada uma das trações mínimas investigadas. Caso  $Hf(T, \mu)$  não passe nos critérios de lançamento, adota-se um valor de altura significativa menor que o original, até que se obtenha o valor que representa a janela no ponto em estudo. O objetivo, portanto, é obter o valor de tração mínima que melhor se aplica ao sistema de ancoragem para este ponto, ou seja, aquele que maximiza  $Hf(T, \mu)$ . Para isso é feita uma simulação com tempo correspondente a 3 h de estado de mar, seguindo a disposição da DNV-GL (2017), com um passo de tempo de 0,1 s. Um fluxograma indicativo do método é apresentado na Figura 58.

Figura 58 – Fluxograma da análise dinâmica



Fonte: autor

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estabilidade intacta

Os resultados de estabilidade intacta são apresentados na Tabela 10. Percebe-se uma falha no critério de ângulo de máximo GZ, porém é algo natural devido às características de elevado GMT e pequena borda livre da barcaça, não sendo um fator prejudicial à sua estabilidade intacta. Além disso, a IMO permite a aplicação de critério alternativo neste caso, como mostra a citação abaixo:

MSC 267 (85) – 2.2.3 – O braço de endireitamento máximo deverá ocorrer com um ângulo de banda não inferior a 25°. Se isto não for possível, podem ser aplicados critérios alternativos, com base num nível de segurança equivalente, dependendo da aprovação da Administração (IMO, 2008).

Tabela 10 – Avaliação da estabilidade intacta da barcaça

<b>Code</b>	<b>Criteria</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>	<b>Actual value</b>	<b>Status</b>
MSC 267	2.2.1: Area 0 to 30	3,15	m.deg	70,60	OK
MSC 267	2.2.1: Area 0 to 40	5,16	m.deg	91,64	OK
MSC 267	2.2.1: Area 30 to 40	1,72	m.deg	21,04	OK
MSC 267	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,20	m	2,52	OK
MSC 267	2.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	18,2	Fail
MSC 267	2.2.4: Initial GMt	0,15	m	14,65	OK
MSC 267	2.3: Severe wind and rolling				OK
	Angle of steady heel shall not be greater than ( $\leq$ )	16	deg	0,1	OK
	Area1 / Area2 shall not be less than ( $\geq$ )	100	%	146,74	OK

### 4.2 Análise hidrodinâmica

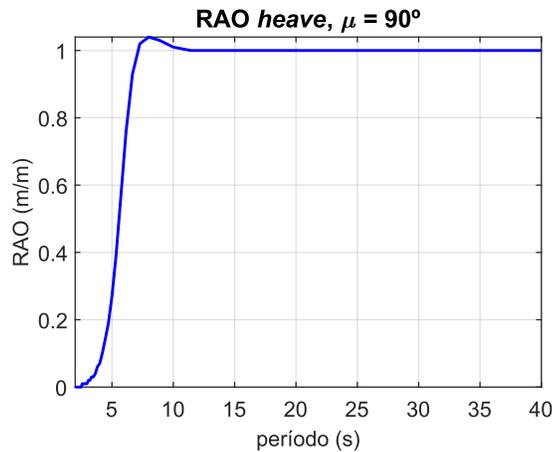
Os dados da análise hidrodinâmica são utilizados principalmente como dado de entrada para as análises de lançamento, portanto a totalidade destes resultados é apresentada no apêndice 8.1. Porém algumas de suas características são interessantes de serem destacadas: os RAO's de movimento em *heave* e *sway*, e a faixa de períodos naturais da barcaça. Estas informações são apresentadas a seguir.

#### 4.2.1 RAO's de movimento

Aqui são exibidos os RAO's de *heave*, em uma direção de incidência de  $90^\circ$  (Figura 59) e  $180^\circ$  (Figura 60), e de *sway* para incidência de  $90^\circ$  (Figura 61). A intenção de mostrar estes resultados é verificar a adequação do RAO ao que se espera do conhecimento teórico.

Nota-se nos dois gráficos de *heave* a tendência à unidade com o aumento do período de onda, o que condiz com o que está na literatura (e.g., JOURNÉE (2001)), ou seja, para grandes períodos, a embarcação responde com a mesma amplitude da onda. Para o caso de *sway*, também se percebe uma tendência à unidade até os 17 s, mas para grandes períodos a resposta diverge. Esta é uma limitação do programa *Aqwa*, que não condiz com o conhecimento teórico (e.g., JOURNÉE (2001)), porém não interfere significativamente nos resultados do trabalho. Os demais valores de RAO, para diferentes graus de liberdade e direção de incidência estão no apêndice 8.1.3.

Figura 59 – RAO de *heave* para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de  $90^\circ$



Fonte: autor

Figura 60 – RAO de *heave* para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de 180°

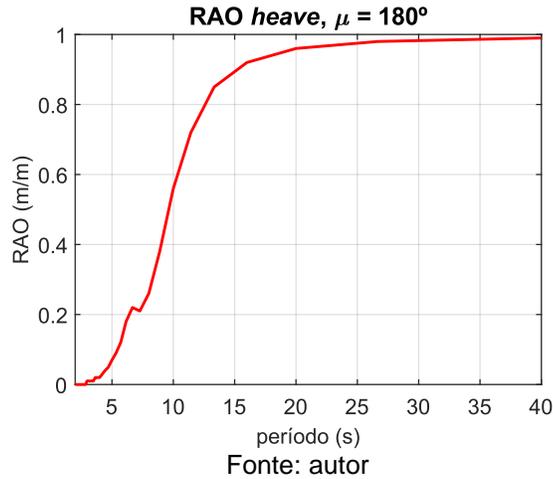
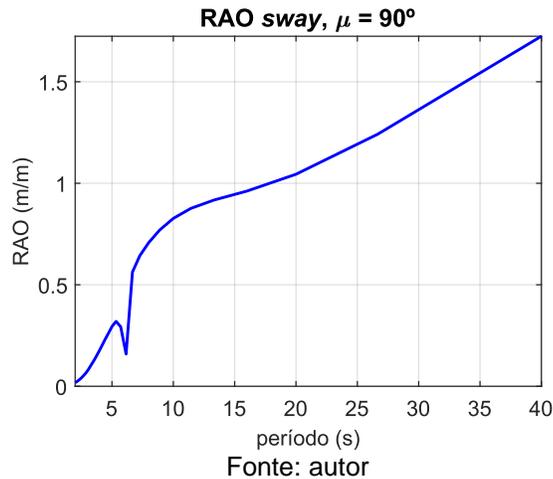


Figura 61 – RAO de *sway* para uma onda de amplitude 1 m e direção de incidência de 90°



#### 4.2.2 Períodos naturais

Os períodos naturais da barça são apresentados na Tabela 11. Eles são importantes resultados que ajudam a compreender o comportamento da janela operacional para um estado de mar na faixa de períodos entre 6 e 10 s.

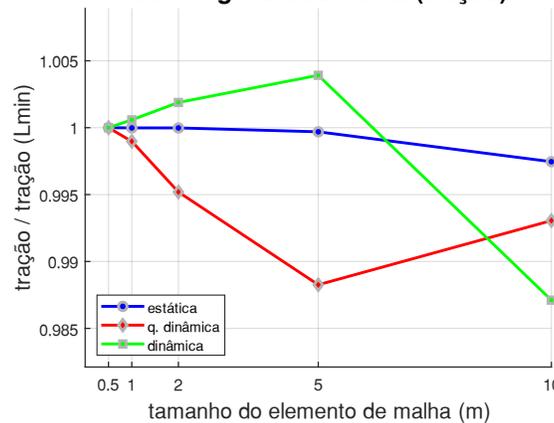
Tabela 11 – Períodos naturais da barça

<i>Heave</i>	9,67 s
<i>Roll</i>	6,37 s
<i>Pitch</i>	7,89 s

### 4.3 Teste de convergência de malha do duto

A Figura 62 apresenta a convergência do valor de tração na extremidade A do duto, isto é, onde este está preso ao tracionador. Percebe-se que, para as três análises realizadas, o valor da tração pouco varia com o tamanho do elemento de malha.

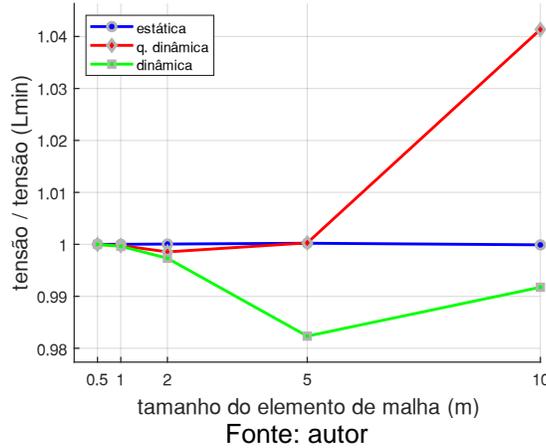
Figura 62 – Convergência de malha para o ponto em  $S = 0$  m  
**convergência de malha (tração)**



Fonte: autor

A Figura 63 apresenta a convergência do valor de tensão para o ponto localizado na *sagbend* do duto. Percebe-se que, para todas as análises, o valor da tensão pouco varia com o tamanho do elemento de malha, o que permite a utilização de um elemento de malha com 10 m de comprimento. Como será reforçado nos resultados das análises de tensão no duto, a região que produz os maiores valores de tensão é a ponta do *stinger*, localizada na *overbend*. A *sagbend* não possui valores significativos de tensão, o que justifica a aplicação de uma malha mais grosseira nesta região do duto.

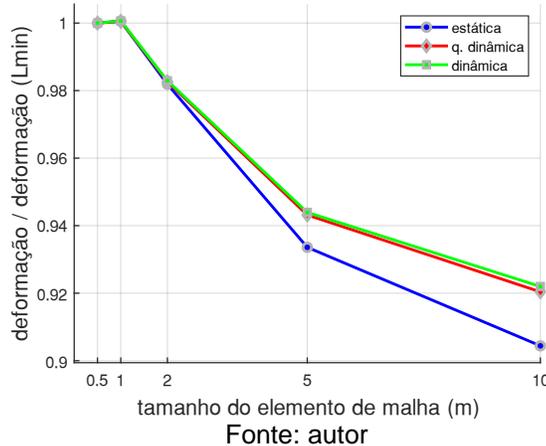
Figura 63 – Convergência de malha para o ponto em  $S = 300$  m  
**convergência de malha (tensão)**



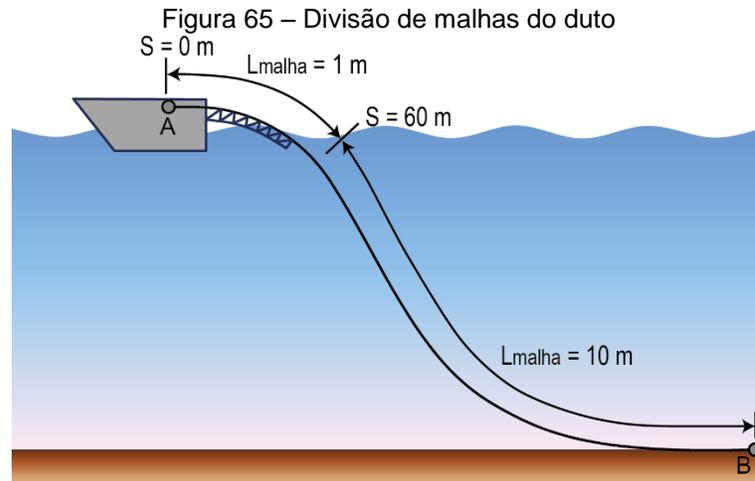
A Figura 64 apresenta a convergência do valor de deformação para o ponto onde o duto mantém contato com um dos suportes do *stinger*. Percebe-se que, para todas as análises, o valor da deformação só converge para um elemento de malha com comprimento de 1 m.

Conclui-se, portanto, que a *overbend*, principalmente na região em que o duto está apoiado pelos suportes, deve possuir um elemento de malha de 1 m, que também já fornece bons resultados de tração na extremidade ligada ao tracionador. Como dito acima, os resultados para a *sagbend* são satisfatórios para um elemento de malha de 10 m.

Figura 64 – Convergência de malha para o ponto em  $S = 45,5$  m  
**convergência de malha (deformação)**



Há a necessidade, então, do duto possuir duas malhas. Essa divisão é feita como mostra a Figura 65. Os primeiros 60 m de comprimento do duto, que vão do tracionador até um pouco além da ponta do *stinger* (que está em 56,4 m), recebem um elemento de malha de tamanho 1 m. O restante do comprimento do duto recebe um elemento de malha de tamanho 10 m.

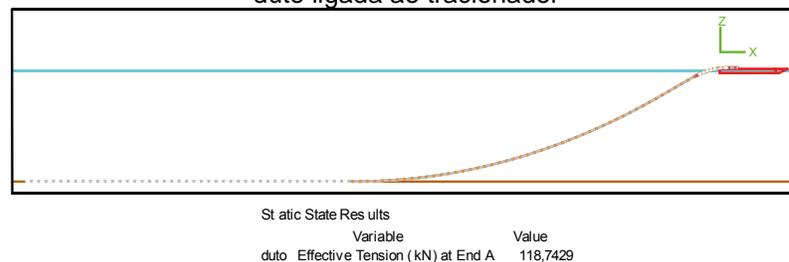


Fonte: autor

#### 4.4 Análise estática

As figuras abaixo mostram um exemplo de como o *Orcaflex* apresenta os resultados da análise estática. A Figura 66 apresenta uma vista de perfil do lançamento e o resultado de tração na extremidade A da linha. Nota-se que o valor da tração está abaixo do limite do tracionador (235 kN), portanto, trata-se de uma configuração aprovada neste critério específico.

Figura 66 – Vista de perfil de uma configuração em análise estática e o valor da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador



Fonte: autor

A Figura 67 mostra o valor da tensão no duto ao longo do seu comprimento. Os valores são divididos pelo máximo valor de tensão segundo a norma DNVGL, representado no gráfico pela linha horizontal com ordenada unitária. Gráfico semelhante é feito para os valores de deformação (Figura 68). A linha vertical de cor vermelha nos gráficos delimita as regiões de aplicação dos critérios. O critério de tensão, conforme a DNVGL deve ser aplicado na ponta do *stinger* e na *sagbend*. Aqui neste trabalho, estas duas partes foram definidas para um intervalo que vai de 53,7 m até o final da linha. O critério de deformação é aplicado na *overbend*, que compreende a região que vai do início até 60 m de comprimento do duto.

Nota-se que para os dois gráficos, há uma região acentuada de altos valores de tensão e deformação, que representa a *overbend*, logo em seguida há uma queda e uma estabilização em constantes e baixos valores de tensão e deformação, que representa a *sagbend* e o comprimento de duto que repousa no leito marinho. Este comportamento é característica comum de todas as análises realizadas neste trabalho, o que reforça a utilização de uma malha mais refinada na *overbend* e outra mais grosseira no restante da linha.

Figura 67 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise estática

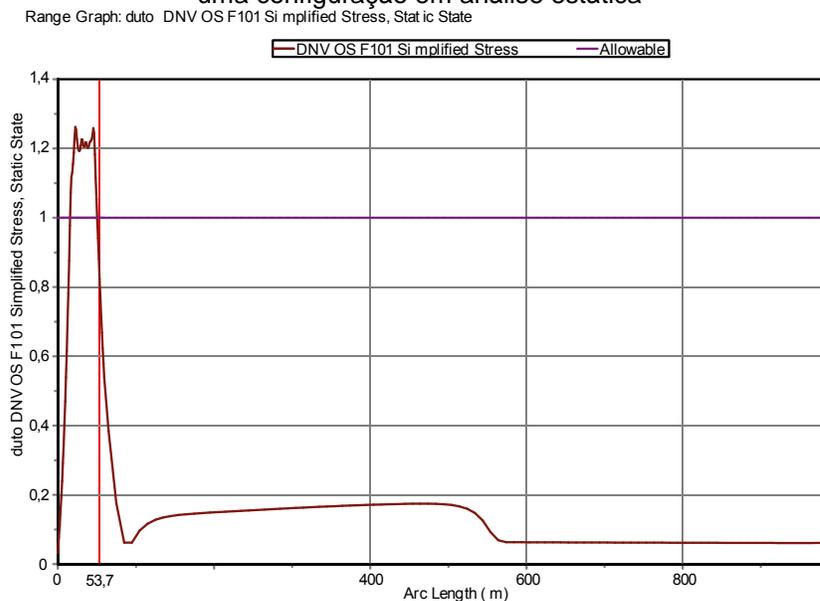
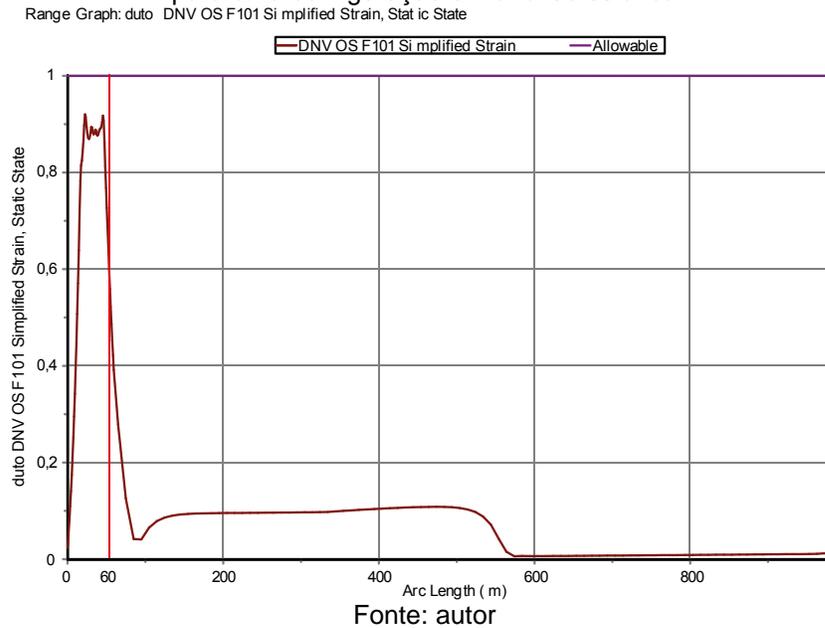


Figura 68 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise estática



Dos gráficos de tensão e deformação são extraídos os seus máximos e avaliadas a conformidade à norma. Conforme explicado na metodologia (tópico 3.6), a análise estática neste trabalho avalia a influência do raio do *stinger* e da tração na extremidade da linha ligada ao tracionador no comportamento global do lançamento. A Figura 69 mostra como varia a tensão máxima na linha em função destes dois parâmetros. A Figura 70, por sua vez, apresenta os valores de deformação máxima. Nestes dois gráficos é apresentada a região de aprovação em destaque, ou seja, para valores de tensão e deformação menores que a unidade e tração estática menor que a capacidade do tracionador (235 kN).

Figura 69 – Valor máximo de tensão normalizada para cada raio de *stinger* em função da tração. A área em destaque representa a região de aprovação segundo os critérios de tensão e tração. A legenda apresenta os valores de raio do *stinger*

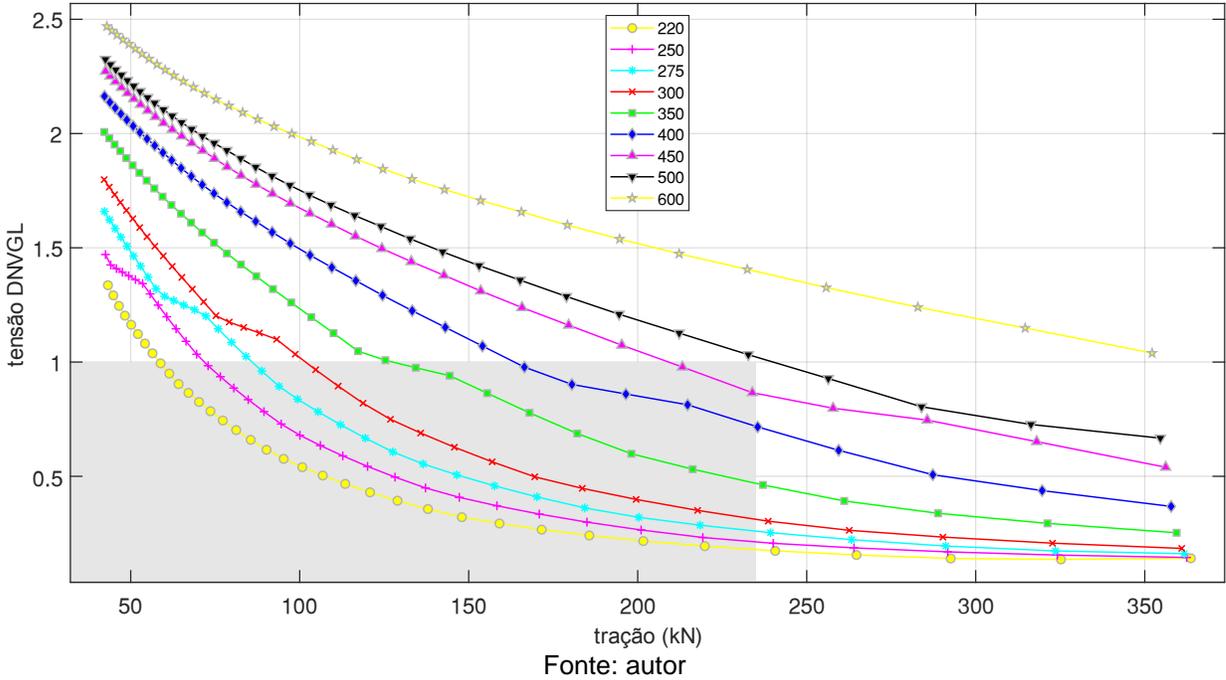
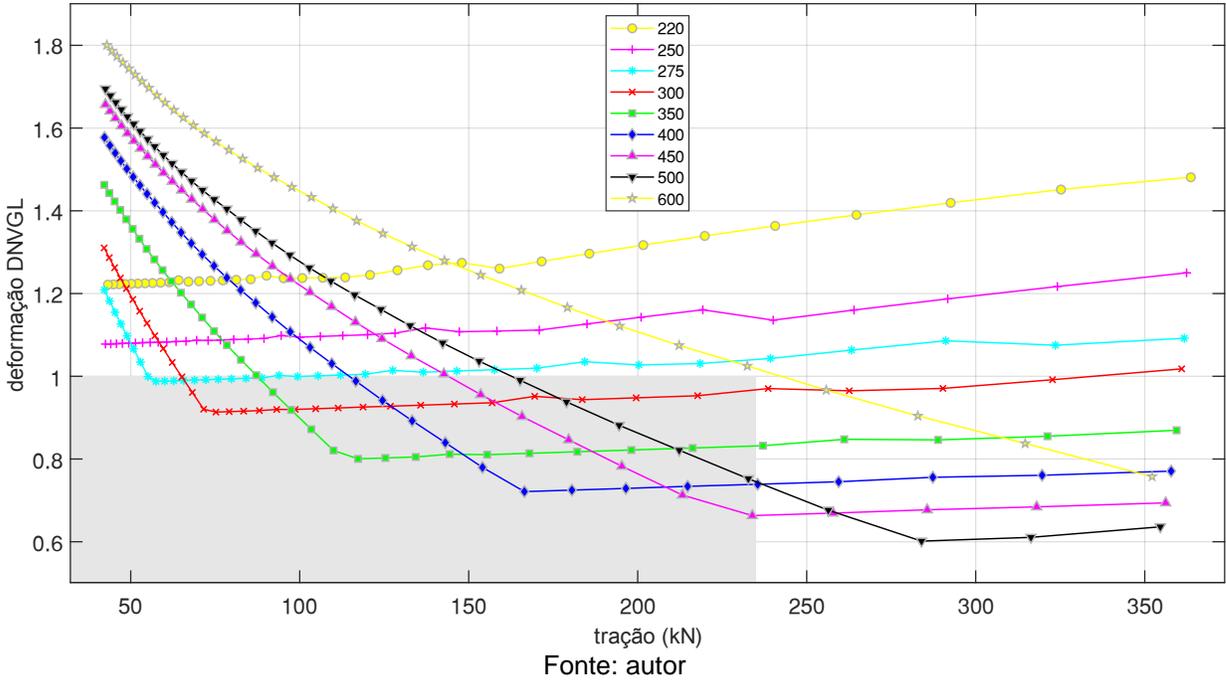
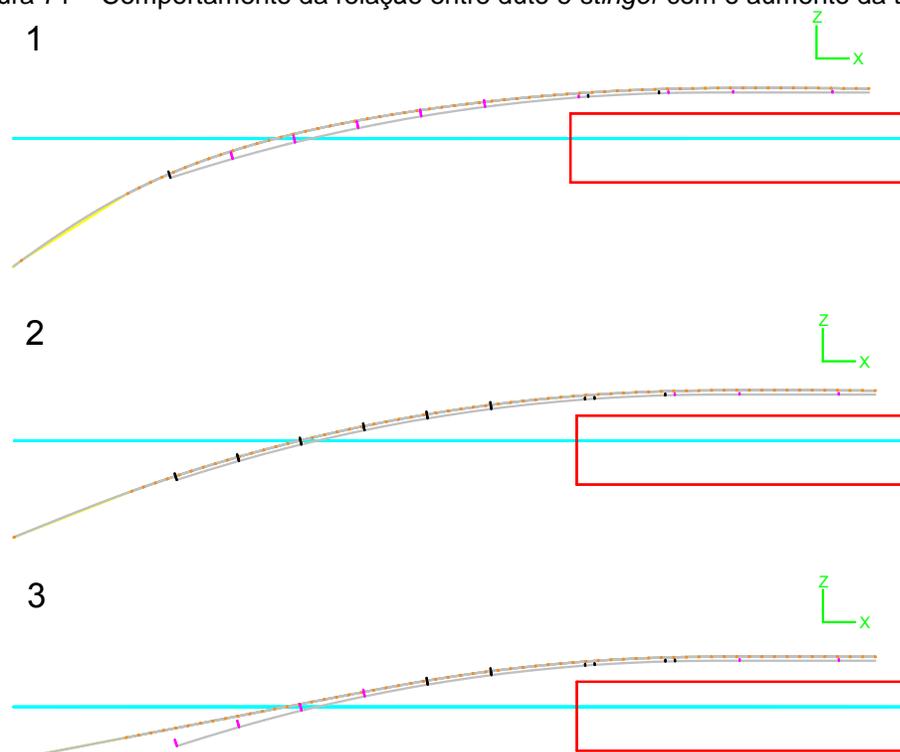


Figura 70 – Valor máximo de deformação normalizada para cada raio de *stinger* em função da tração. A área em destaque representa a região de aprovação segundo os critérios de deformação e tração. A legenda apresenta os valores de raio do *stinger*



Percebe-se dos gráficos acima uma rápida mudança de comportamento, principalmente no valor de deformação. Há uma fase decrescente com o aumento da tração. Nesta fase, a deformação máxima (e também a tensão máxima) ocorre exclusivamente na ponta do *stinger* (Figura 71.1). Com o aumento da tração (ou diminuição do comprimento da linha), a ponta do *stinger* passa a perder contato (Figura 71 – 2 e 3) com o duto, e os valores de deformação máxima são responsabilidade dos outros suportes, que distribuem melhor entre si os esforços, e por isso a deformação passa a crescer mais lentamente com a tração.

Figura 71 – Comportamento da relação entre duto e *stinger* com o aumento da tração

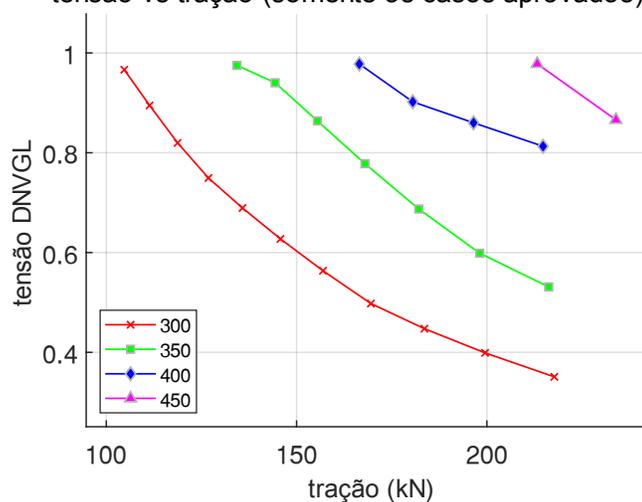


Fonte: autor

As configurações de raio de *stinger* e tração estática que passam no filtro desta análise são aquelas que são aprovadas simultaneamente nos dois critérios da DNVGL e obedecem ao limite do tracionador. Abaixo são apresentados somente os casos aprovados e seus valores de tensão (Figura 72) e deformação (Figura 73). Percebe-se destes resultados menores valores de tensão com a diminuição do raio do *stinger* e com o aumento da tração na extremidade da linha (ou com a diminuição do seu comprimento).

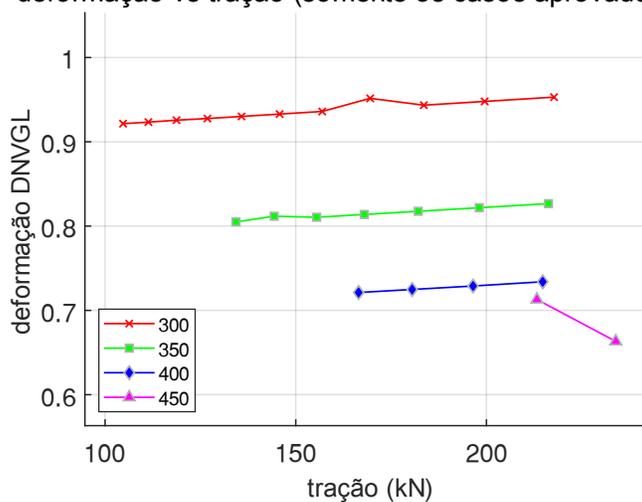
Resultado inverso ocorre para a deformação. Estes resultados mostram como a análise estática não é suficiente para obter uma configuração ótima de lançamento, havendo a necessidade de investigação mais profunda em análise quase-dinâmica.

Figura 72 – Configurações aprovadas na análise estática e seus valores de tensão e tração  
tensão vs tração (somente os casos aprovados)



Fonte: autor

Figura 73 – Configurações aprovadas na análise estática e seus valores de deformação e tração  
deformação vs tração (somente os casos aprovados)



Fonte: autor

#### 4.5 Análise quase-dinâmica

Os resultados da análise quase-dinâmica são apresentados a seguir.

#### 4.5.1 Análise quase-dinâmica em onda regular

As figuras abaixo mostram um exemplo de como o *Orcaflex* apresenta os resultados da análise quase-dinâmica em onda regular. A Figura 74 apresenta uma vista de perfil da barcaça em ondas.

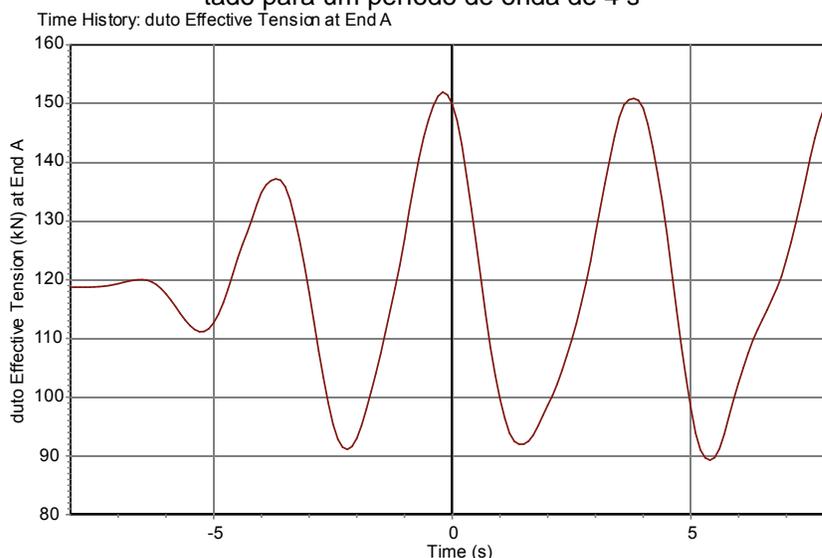
Figura 74 – Vista de perfil de uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular



Fonte: autor

A Figura 75 mostra o comportamento temporal da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador. Como explicado na metodologia (tópico 3.7.1), a análise em onda regular busca os resultados no tempo de dois períodos de onda. A imagem também mostra um intervalo de tempo de estabilização dos resultados, que no *Orcaflex* é utilizado o padrão de 8 s. Após esta rampa de estabilização, os resultados permanecem oscilando com amplitude constante. Neste caso específico, nota-se que a tração não ultrapassa o limite do tracionador (235 kN), tornando-o aprovado para este critério.

Figura 75 – Gráfico da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador no domínio do tempo. Resultado para um período de onda de 4 s



Fonte: autor

A Figura 76 mostra o valor da tensão no duto ao longo do seu comprimento. Este gráfico contém três curvas: uma de valor máximo, uma de valor médio e outra de valor mínimo. Gráfico semelhante é feito para os valores de deformação (Figura 77). São dispensados os comentários sobre estes gráficos, pois são aqueles mesmos percorridos para a análise estática (tópico 4.4).

Figura 76 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular

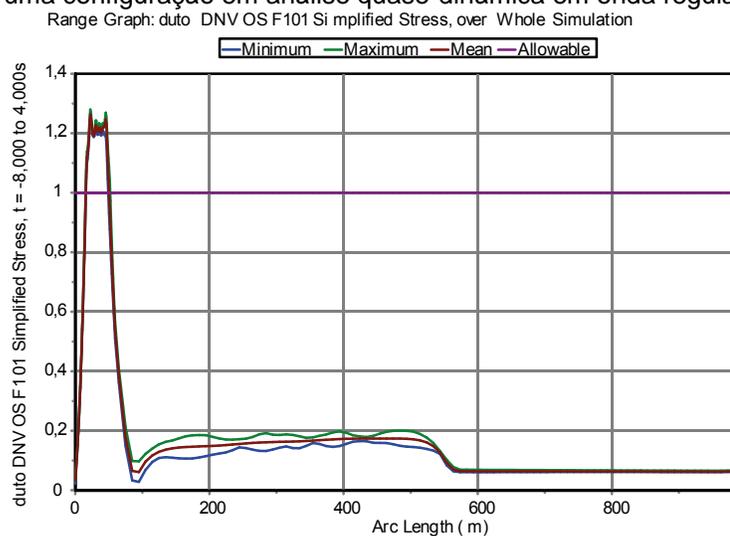
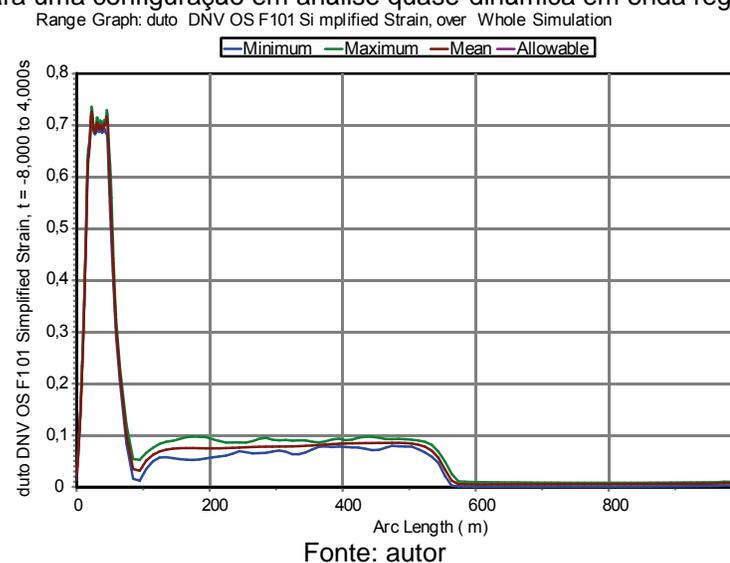


Figura 77 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda regular

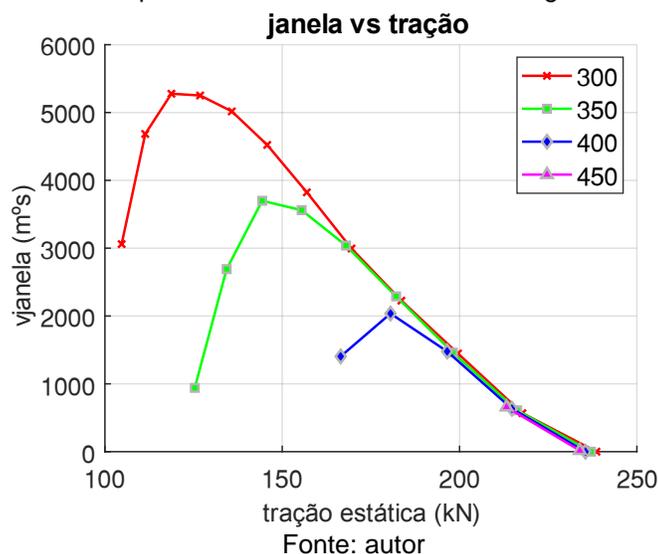


Conforme explicado na metodologia (tópico 3.7.1), a análise quase-dinâmica em onda regular, neste trabalho, avalia a janela operacional para cada uma das configurações aprovadas na análise estática e, com isso, escolhe as melhores a serem levadas para a próxima análise. As combinações de raio de *stinger* e tração (ou comprimento de linha), foram submetidas a uma série de ondas regulares, variando em altura, período e direção de incidência, por um intervalo de tempo igual ao dobro do período da onda. Extrai-se os máximos de tração, tensão e deformação neste intervalo temporal e avalia-se a conformidade aos limites estabelecidos.

Com a definição de janela operacional dada no tópico 2.9, é possível obter um valor associado a esta, que representa a amplitude da região de trabalho da embarcação. Este valor foi chamado neste trabalho de *vjanela* (remetendo a “volume de janela”), calculado conforme a equação (2.20). Quando maior este valor, maior a janela operacional e, portanto, maior é a região de trabalho da barcaça para uma configuração de lançamento específica.

Foi calculado o valor de *vjanela* para cada uma das configurações aprovadas na análise estática, e o resultado é apresentado na Figura 78. A abcissa contém os valores de tração estática (resultantes da análise estática). À primeira vista, percebe-se uma vantagem do raio de *stinger* de 300 pés em relação aos outros.

Figura 78 – Valor de *vjanela* para cada uma das configurações aprovadas na análise estática. A legenda apresenta os valores de raio do *stinger*



Um comportamento padrão do gráfico é a concavidade negativa. À direita do ponto de máximo, há um decréscimo da janela com o aumento da tração. Isso ocorre porque o principal limitante é a capacidade do tracionador, isto é, os valores de tensão e deformação, de modo geral, estão dentro do permitido, mas o tracionador não consegue suportar as variações de tração devido à ação das ondas. À esquerda do ponto de máximo, o limitante passa a ser o critério de tensão. Em termos de valor médio, a tensão na análise quase-dinâmica possui o mesmo comportamento encontrado na análise estática (vide Figura 72), o que justifica a influência da tensão à esquerda do ponto de máxima janela.

Com estes resultados, foram escolhidas as cinco melhores configurações, ou seja, as que possuem maior janela operacional, como mostra a Figura 79. Estas configurações foram nomeadas em ordem de tração estática em A, B, C, D e E. Todas elas se caracterizam pelo raio de *stinger* de 300 pés e tração estática variando conforme a Tabela 12. A representação gráfica polar da janela operacional da configuração B é apresentada na Figura 80 como exemplo.

Figura 79 – As cinco melhores configurações escolhidas na análise quase-dinâmica em onda regular

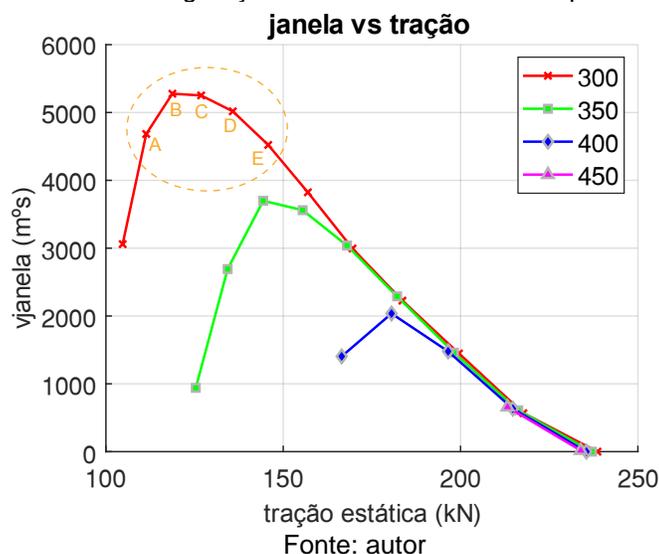
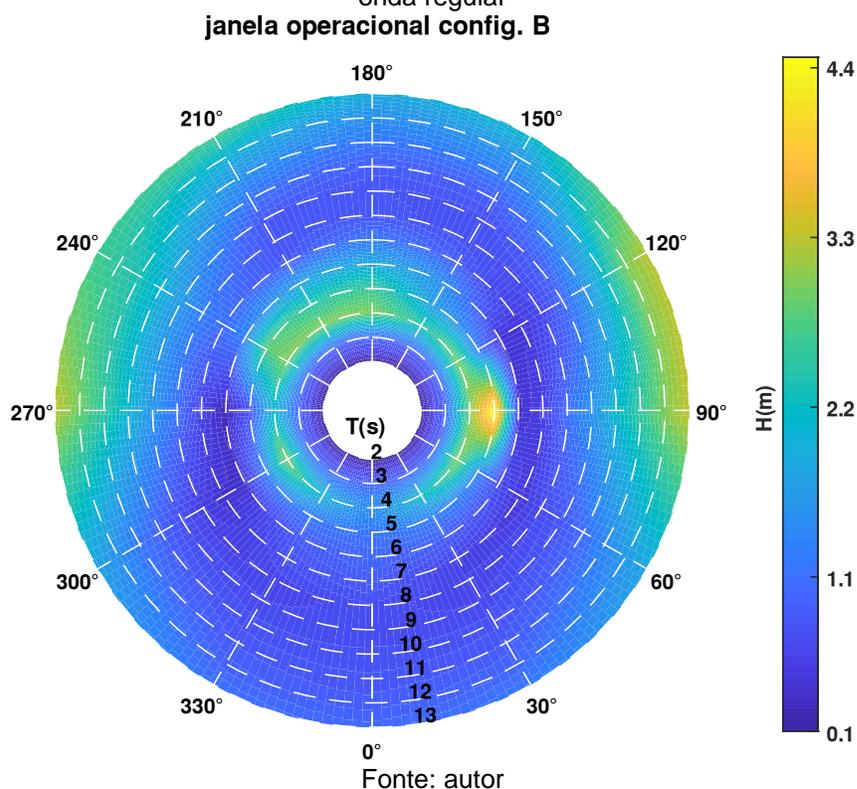


Tabela 12 – Configurações selecionadas e valores de tração estática

Configuração	A	B	C	D	E
Tração (kN)	111,37	118,73	126,84	135,78	145,77

Figura 80 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-dinâmica em onda regular



Essa representação polar da janela operacional mostra um *gap* de baixa altura de onda entre 6 e 10 s, o que é justificável, pois representa a faixa de ressonância da barcaça (vide tópico 4.2.2). A janela operacional é assimétrica pelo simples motivo da barcaça também ser assimétrica (a linha de lançamento do duto situa-se 9,5 m à bombordo da linha de centro). Além disso, os diferentes valores de  $Hf$  para direções de incidência simétricas se justificam na defasagem entre os movimentos da barcaça. Exemplo: Para uma direção de incidência de  $90^\circ$ , os movimentos de *roll* e *heave* estão defasados de  $180^\circ$  entre si de modo que, quando a barcaça se move no sentido positivo do eixo z, esta rotaciona no sentido negativo do eixo x. Esta composição de movimentos torna o movimento do duto, localizado à bombordo da linha de centro, menos acentuado do que os movimentos de *heave* e *roll* considerados isoladamente e, portanto, os níveis de tensão, deformação e tração também oscilam com menor amplitude. O efeito contrário acontece para uma onda com incidência de  $270^\circ$ . Estes comportamentos são exibidos nos gráficos das figuras 81 e 82, para uma onda de altura de 4 m um período de 5 s.

Figura 81 – Movimentos em *roll* e *heave* para uma incidência de  $90^\circ$  de onda regular de altura 4 m e período 5 s

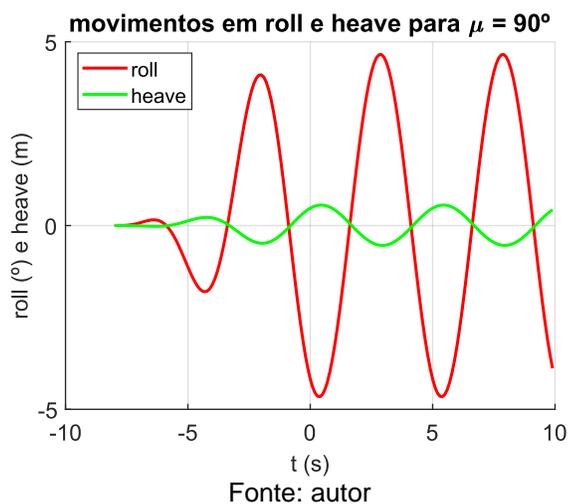
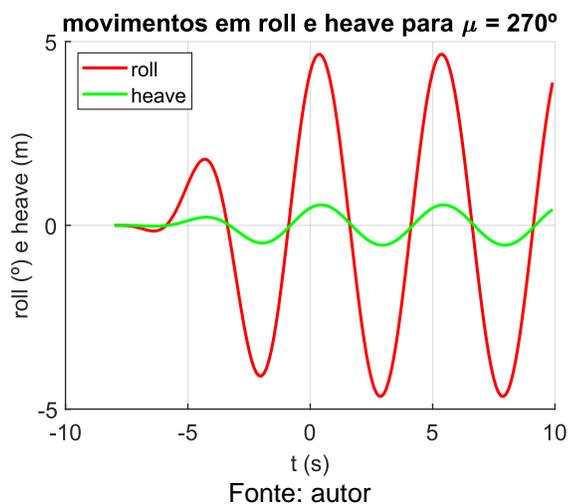


Figura 82 – Movimentos em *roll* e *heave* para uma incidência de  $270^\circ$  de onda regular de altura 4 m e período 5 s

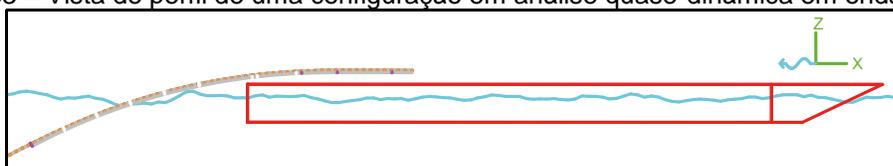


As cinco melhores configurações agora serão carregadas para avaliação em análise quase-dinâmica em onda irregular.

#### 4.5.2 Análise quase-dinâmica em onda irregular

As figuras abaixo mostram um exemplo de como o *Orcflex* apresenta os resultados da análise quase-dinâmica em onda irregular para o usuário do programa. A Figura 83 apresenta uma vista de perfil da barcaça.

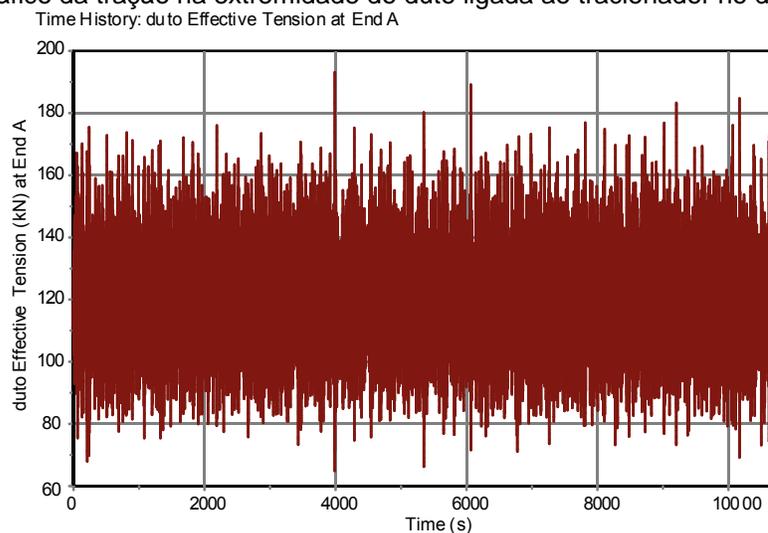
Figura 83 – Vista de perfil de uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular



Fonte: autor

A Figura 84 mostra o comportamento temporal da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador em um tempo total, de acordo com os requisitos da norma, de 3 h (ou 10800 s). Neste caso específico, nota-se que a tração não ultrapassa o limite do tracionador (235 kN), tornando-o aprovado para este critério.

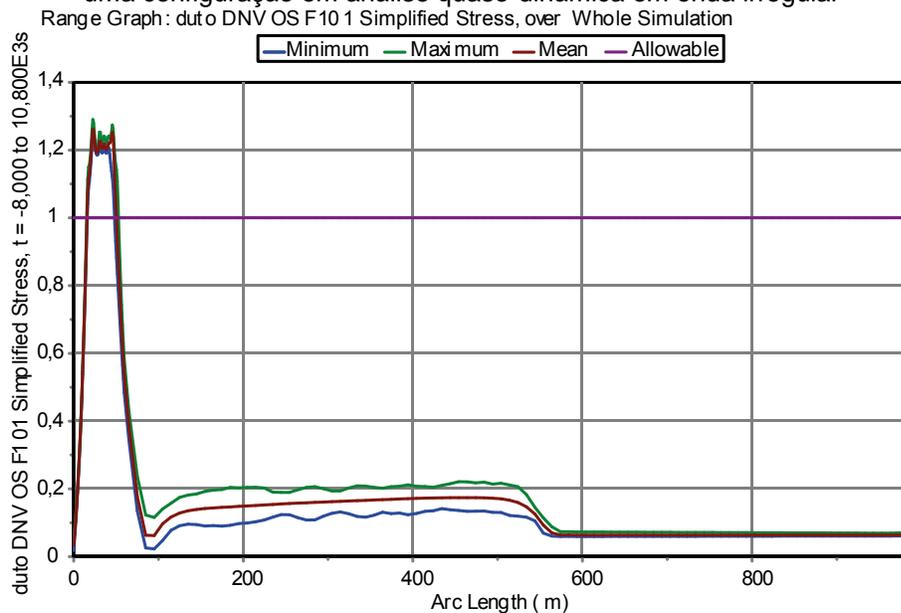
Figura 84 – Gráfico da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador no domínio do tempo



Fonte: autor

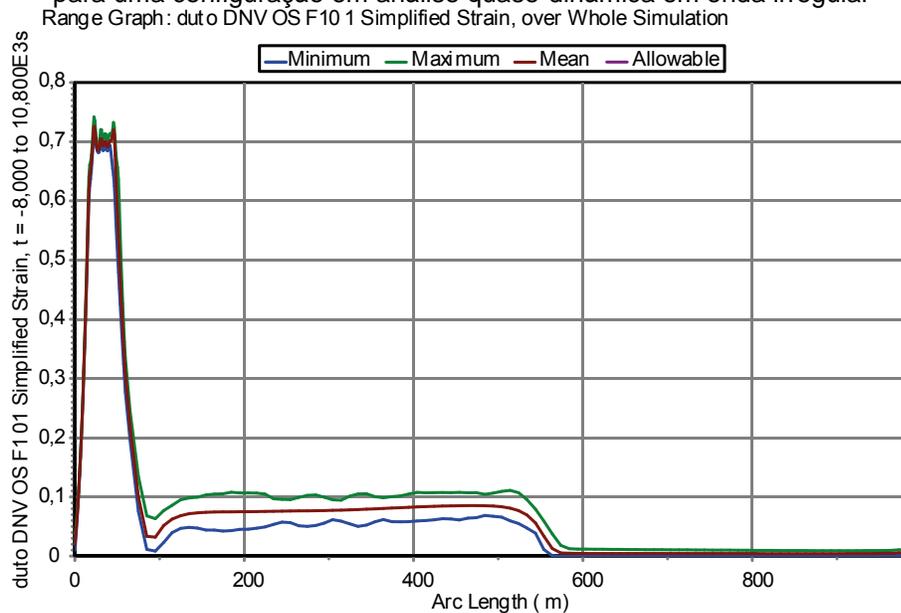
A Figura 85 mostra o valor da tensão no duto ao longo do seu comprimento. Este gráfico contém três curvas: uma de valor máximo, uma de valor médio e outra de valor mínimo. Gráfico semelhante é feito para os valores de deformação (Figura 86). São dispensados os comentários sobre estes gráficos, pois são aqueles mesmos percorridos para a análise estática (tópico 4.4).

Figura 85 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular



Fonte: autor

Figura 86 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise quase-dinâmica em onda irregular



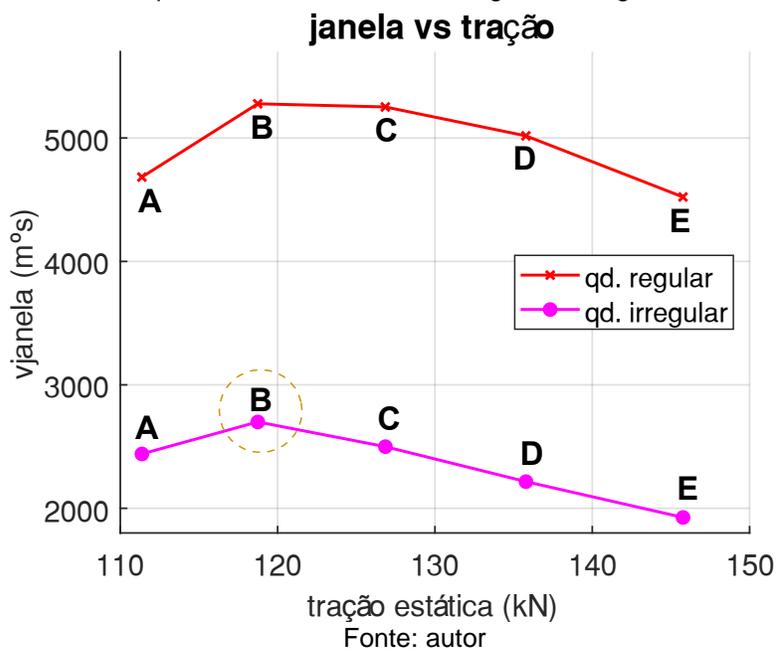
Fonte: autor

Conforme explicado na metodologia (tópico 3.7.2), a análise quase-dinâmica em onda irregular, neste trabalho, avalia a janela operacional para cada uma das configurações escolhidas na análise em onda regular e, com isso, determina a melhor configuração a ser levada para a próxima análise. As combinações de raio de *stinger* e tração estática,

foram submetidas a uma série de ondas irregulares, variando em altura significativa, período de pico e direção de incidência, por um intervalo de tempo de 10800 s.

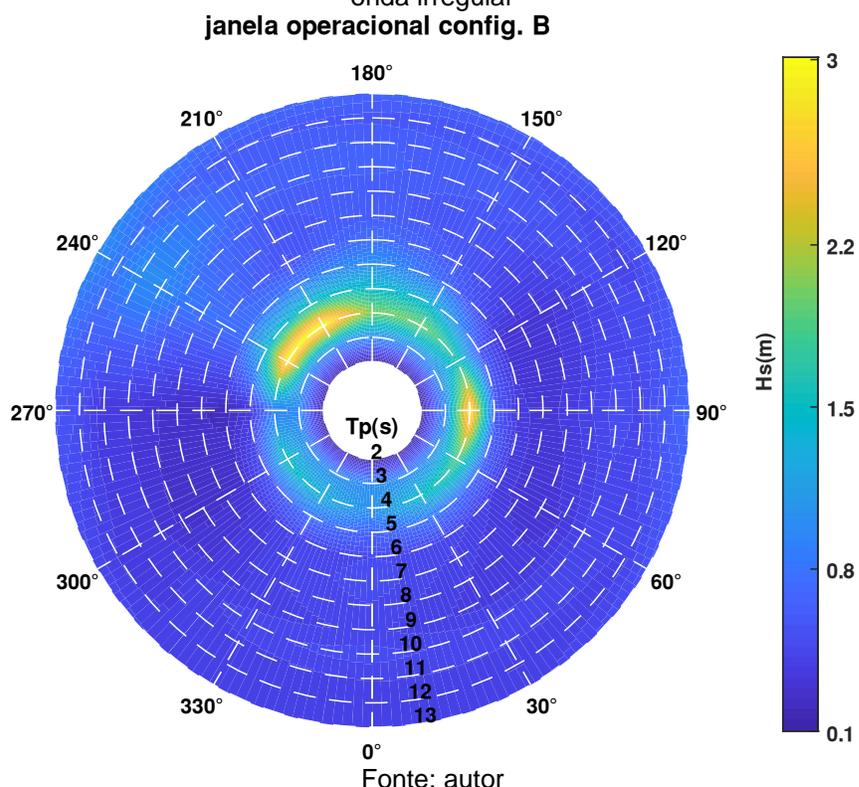
A Figura 87 mostra o valor de  $v_{janela}$  para cada uma das configurações escolhidas no final da análise quase-dinâmica em onda regular e o seu valor na análise atual. Percebe-se uma redução de aproximadamente 50% na janela operacional. Isso se deve à diversidade de componentes de onda que formam o mar irregular e, claro, o tempo de simulação que permite a avaliação do comportamento do lançamento em todas estas componentes.

Figura 87 – Gráfico com comparação entre as janelas de cada uma das configurações, em análises quase-dinâmicas em onda regular e irregular.



A configuração B é a que apresentou o melhor resultado nesta análise. A representação polar da sua janela operacional é exibida na Figura 88. Nota-se uma grande diferença com a janela anterior (Figura 80). Existe uma região mais favorável à operabilidade da embarcação, que se situa em um período de pico de 4 s e uma direção de incidência que está entre 210 e 240° ou 90°. Para períodos de pico acima de 5 s, a operação da barcaça é restrita a ondas de altura significativa menor que 0,8 m.

Figura 88 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-dinâmica em onda irregular



#### 4.6 Análise quase-estática

Como explicado na metodologia (tópico 3.8), o objetivo desta etapa do trabalho é verificar como se comporta o sistema de ancoragem da embarcação na configuração escolhida.

A análise quase-estática utiliza um código em *Matlab* (ver apêndice 8.5) para a solução do problema de otimização do sistema de ancoragem catenária, e a janela operacional da configuração B. A ideia é investigar o comportamento de *vjanela* ao longo do trajeto da barça. Foi escolhido um deslocamento de -300 a 300 m em relação à configuração referencial, variando os valores de tração mínima aplicada na linha. O resultado desta investigação é apresentado na Figura 89.

Nota-se uma diminuição da janela operacional a medida que se afasta de uma região de valor máximo, aproximadamente em 60 m, como indica a linha tracejada da Figura 93. A limitação da âncora é o principal fator que provoca essa diminuição, como expõe a Figura 90. A justificativa para a maior influência da âncora é a seguinte: na região de

máximo, os cabos estão quase que igualmente distribuídos em termos de comprimento, porém à medida que a embarcação avança, de forma a manter a tração horizontal na barça, a componente vertical da força no anete da âncora aumenta, limitando a altura significativa que pode ser sustentada pelo sistema de ancoragem. O mesmo ocorre no sentido negativo do eixo x.

Figura 89 – Resultado da análise quase-estática para vários valores de tração mínima. Resultado da análise quase-dinâmica para comparação

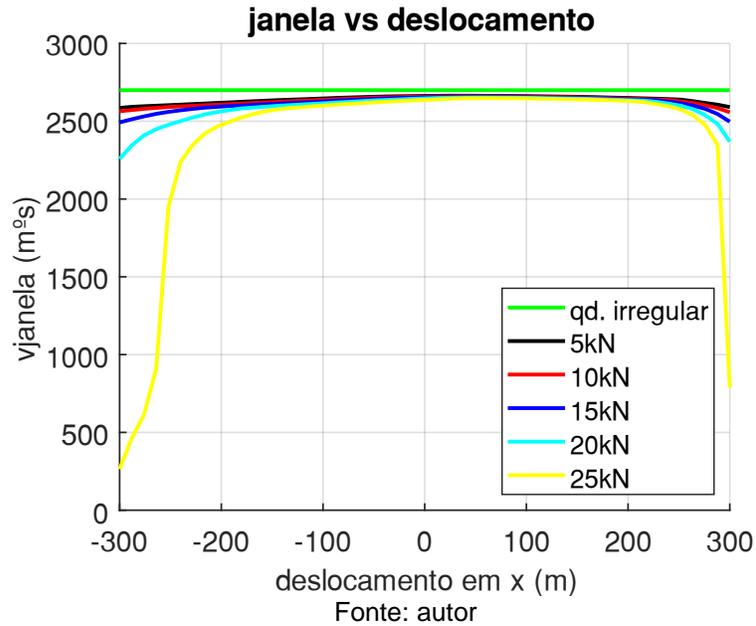
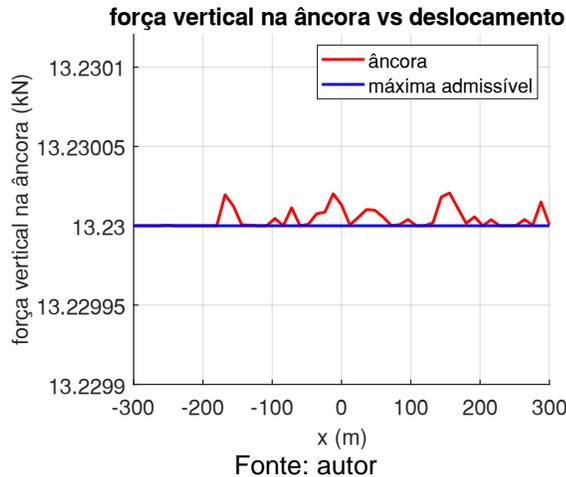
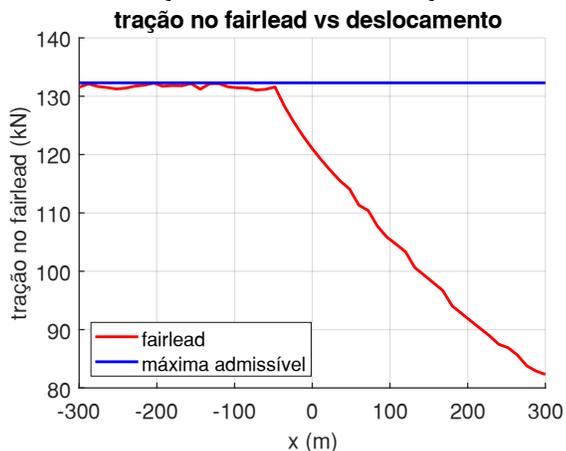


Figura 90 – Máximo valor da componente vertical da força no anete da âncora em função do deslocamento da barça. Alguns valores ultrapassam o limite admissível, mas perceba que se trata de erro numérico (valores muito pequenos)



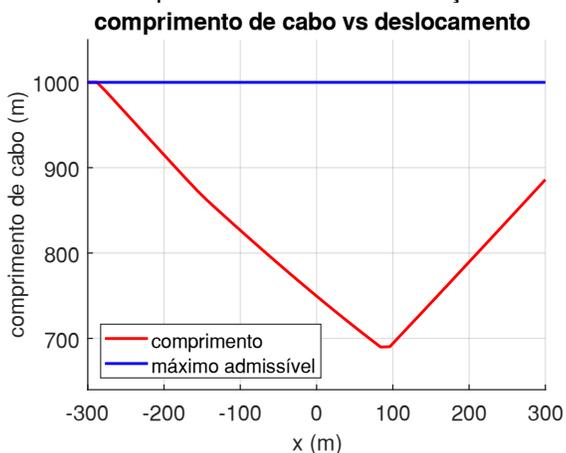
Para uma faixa de posições da barcaça, entre -50 e -300 m, a capacidade do guincho também contribui para este decréscimo da janela operacional (vide Figura 91). Na maior parte do trajeto, o comprimento do cabo de ancoragem não interfere de forma significativa na janela operacional, como exhibe a Figura 92.

Figura 91 – Máximo valor da tração no *fairlead* em função do deslocamento da barcaça



Fonte: autor

Figura 92 – Máximo valor do comprimento de cabo em função do deslocamento da barcaça



Fonte: autor

A Figura 94 mostra o resultado da análise quase estática na janela operacional da configuração B, na posição  $x = 60$  m e para uma tração mínima de 5 kN. Houve uma redução da máxima altura significativa, o que quer dizer que o sistema de ancoragem não suportava as forças de deriva média produzidas pelas alturas significativas encontradas na análise quase-dinâmica.

A linha principal do trabalho termina nesta etapa, mas será avaliado mais um caso, para investigar o comportamento do duto e do sistema de ancoragem em ondas irregulares.

Figura 93 – Zoom da Figura 89. Destaque na posição em  $x = 60$  m  
**janela vs deslocamento (zoom)**

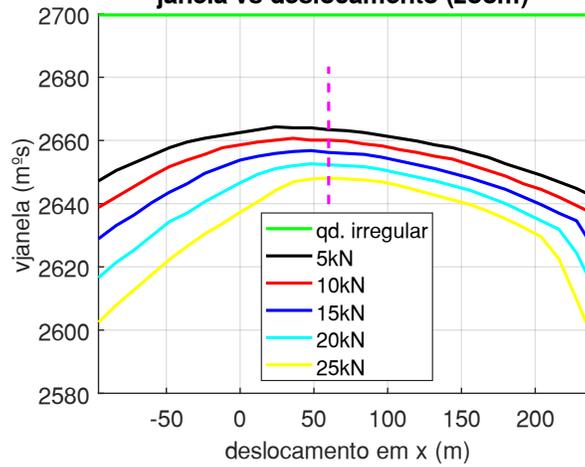
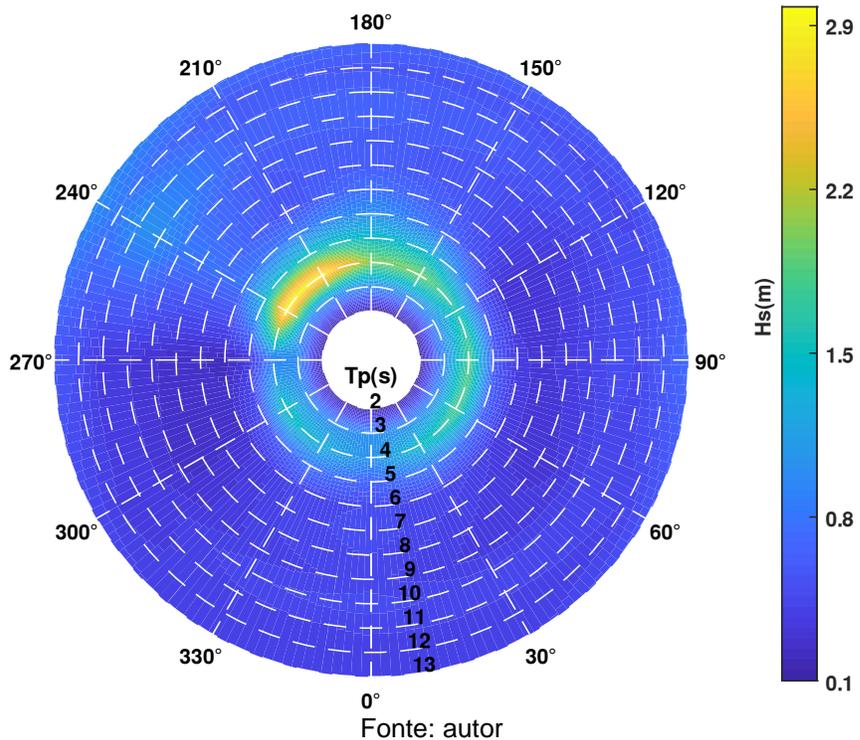
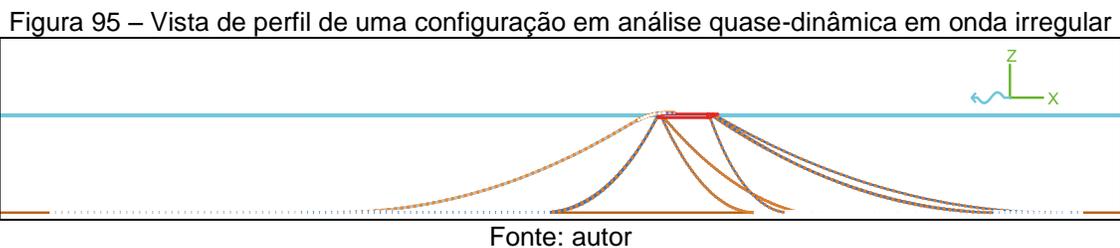


Figura 94 – Representação polar da janela operacional da configuração B em análise quase-estática, para uma tração mínima de 5kN  
**janela operacional config. B**



## 4.7 Análise dinâmica

A Figura 95 apresenta uma vista de perfil do lançamento. Aqui é apresentado um conjunto de resultados para a barcaça na configuração B,  $x = 60$  m, em ondas de 1,42 m de altura significativa, 4 s de período de pico e direção de incidência de  $210^\circ$ .



A Figura 96 mostra o comportamento temporal da tração na extremidade do duto ligada ao tracionador, enquanto as figuras 97 e 98 apresentam a tração no *fairlead* e no anete da âncora, respectivamente. Neste caso específico, nota-se que as trações não ultrapassam os limites do tracionador (235 kN), guincho (147 kN) e âncora (14,7 kN), tornando esta configuração aprovada para estes critérios.

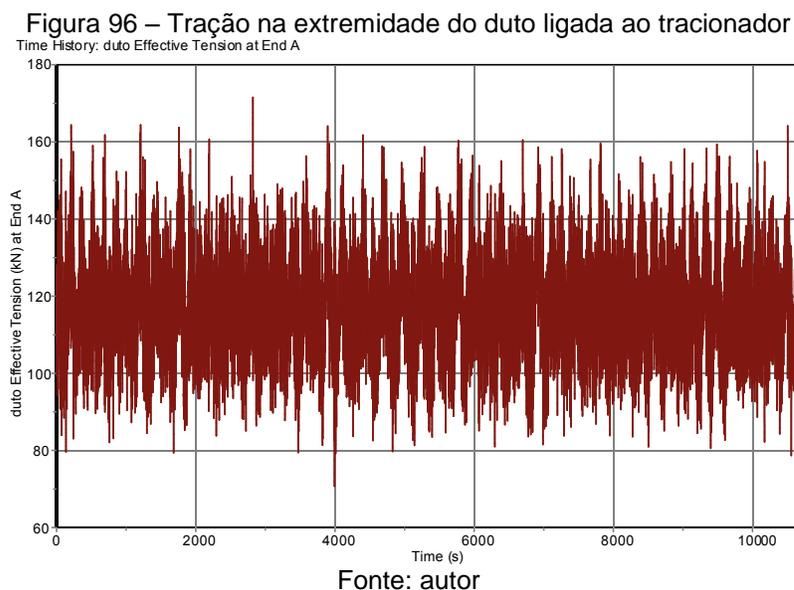
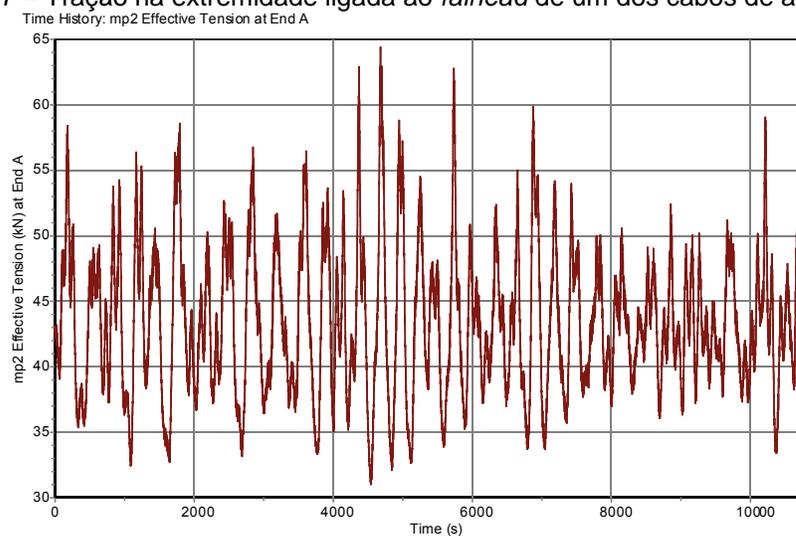
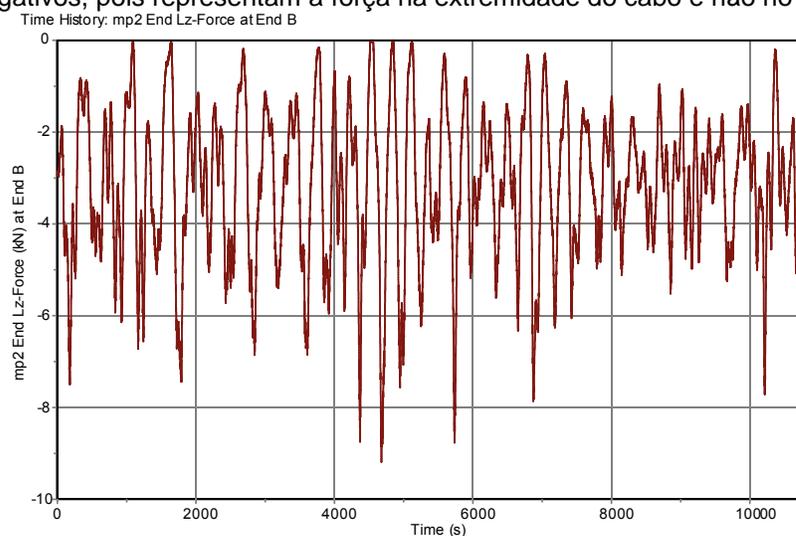


Figura 97 – Tração na extremidade ligada ao *fairlead* de um dos cabos de ancoragem



Fonte: autor

Figura 98 – Tração na extremidade conectada ao anete da âncora de um dos cabos de ancoragem. Os valores são negativos, pois representam a força na extremidade do cabo e não no anete da âncora



Fonte: autor

A Figura 99 mostra o valor da tensão no duto ao longo do seu comprimento. Este gráfico contém três curvas: uma de valor máximo, uma de valor médio e outra de valor mínimo. Gráfico semelhante é feito para os valores de deformação (Figura 100). São dispensados os comentários sobre estes gráficos, pois são aqueles mesmos percorridos para a análise estática (tópico 4.4).

Figura 99 – Gráfico da tensão normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise dinâmica em onda irregular

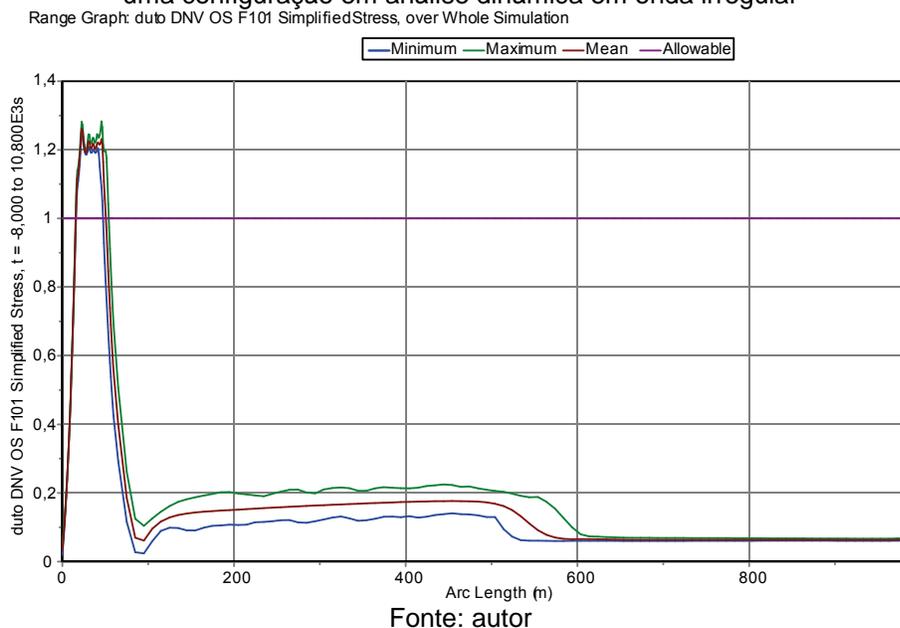
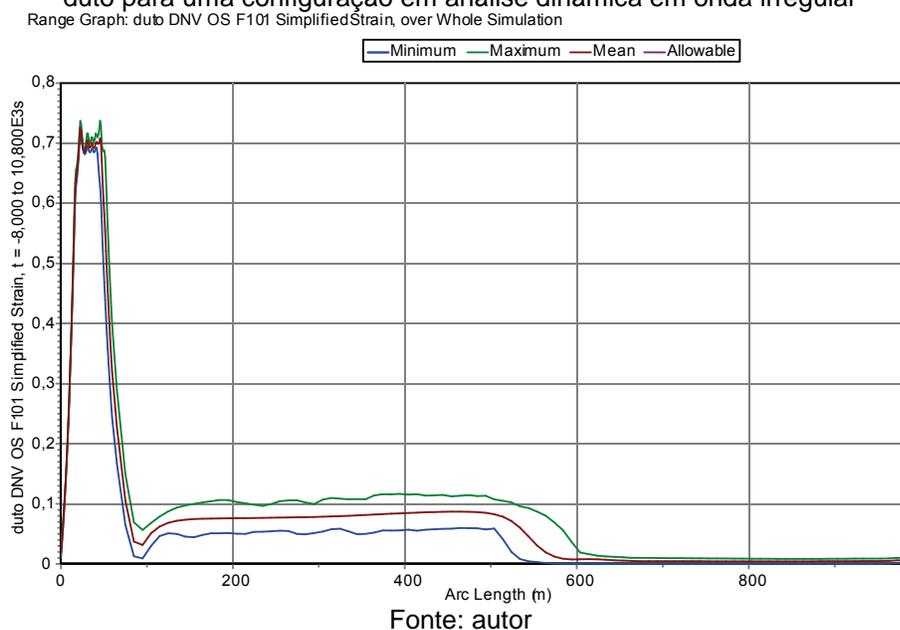


Figura 100 – Gráfico da deformação normalizada pelo critério da DNVGL ao longo do comprimento do duto para uma configuração em análise dinâmica em onda irregular

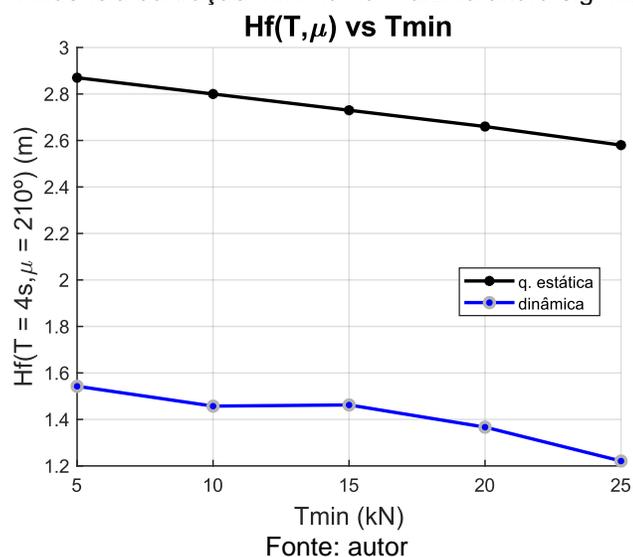


Como esclarecido na metodologia (tópico 3.9), a análise dinâmica não avaliará a janela operacional por completo, por falta de recursos computacionais e tempo. Entretanto, será estudado o comportamento da operação de lançamento com a barcaça na configuração B, na posição  $x = 60$  m, para uma onda irregular com período de pico de 4

s e direção de incidência de  $210^\circ$  (que seria a maior onda em termos de altura significativa resultante da análise quase-estática). O objetivo desta análise é obter a influência da tração mínima no resultado da janela operacional neste ponto específico.

A Figura 101 mostra em uma comparação, em que o máximo valor de altura significativa permitida reduz em aproximadamente 50% do valor obtido na análise quase-estática. Além disso, mantém-se na análise dinâmica, o comportamento decrescente da janela com o aumento da tração mínima na linha de ancoragem. A tração mínima de 5 kN aparece como a tração que fornece a maior altura significativa.

Figura 101 – Influência da tração mínima na máxima altura significativa permitida



Abaixo são apresentados os resultados de movimentação do ponto da barça, cujas coordenadas são (LCG, 0, 0), em *surge* (Figura 102), *sway* (Figura 103) e *yaw* (Figura 104) em função da menor e maior tração mínima analisadas na análise dinâmica, para uma mesma onda: altura de 1,5 m, período de 4 s e incidência de  $210^\circ$ . A Tabela 13 exhibe a deriva média (valor médio do deslocamento) de cada um dos movimentos, enquanto a Tabela 14 mostra a amplitude média (raiz do valor quadrático médio) de cada um destes deslocamentos. Como era de se esperar, em todos estes dados percebe-se uma redução da amplitude do movimento com o aumento da tração.

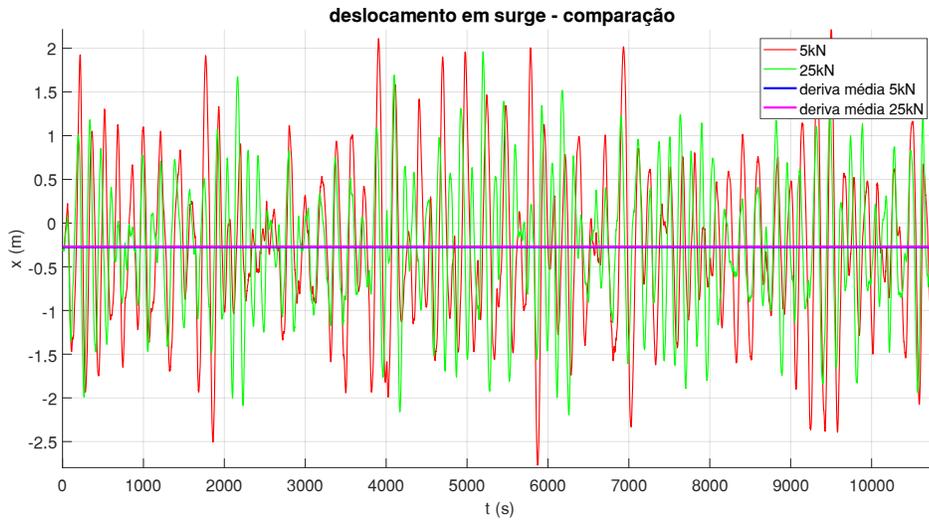
Tabela 13 – Deriva média

Tração mínima	5 kN	25 kN
<i>Surge</i> (m)	-0,27	-0,27
<i>Sway</i> (m)	-0,68	-0,62
<i>Yaw</i> (°)	-0,28	-0,19

Tabela 14 – Amplitude média dos movimentos

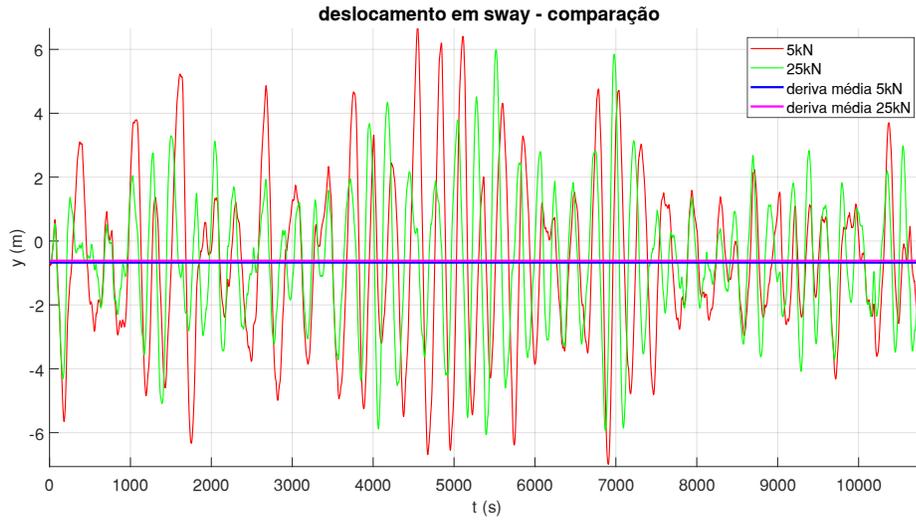
Tração mínima	5 kN	25 kN
<i>Surge</i> (m)	0,89	0,75
<i>Sway</i> (m)	2,57	2,10
<i>Yaw</i> (°)	1,41	1,40

Figura 102 – Deslocamento em *surge* para trações mínimas de 5 e 25 kN



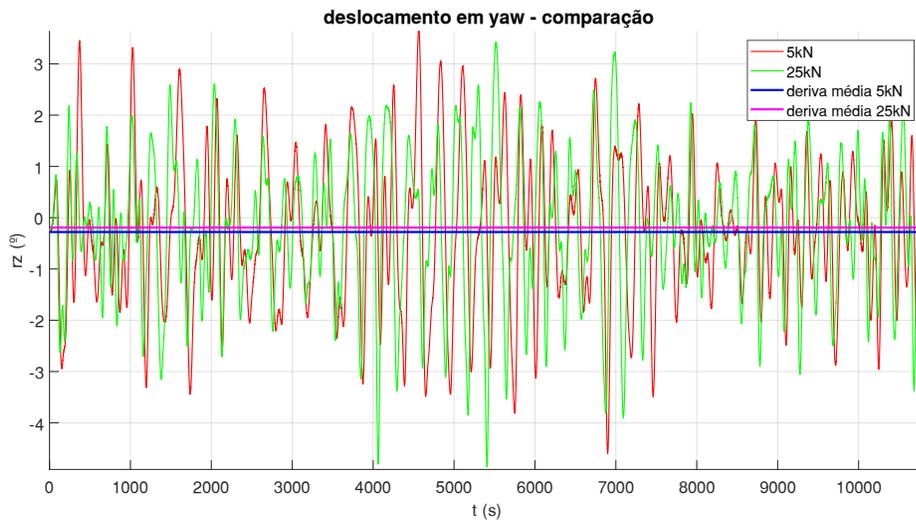
Fonte: autor

Figura 103 – Deslocamento em sway para trações mínimas de 5 e 25 kN



Fonte: autor

Figura 104 – Deslocamento em yaw para trações mínimas de 5 e 25 kN

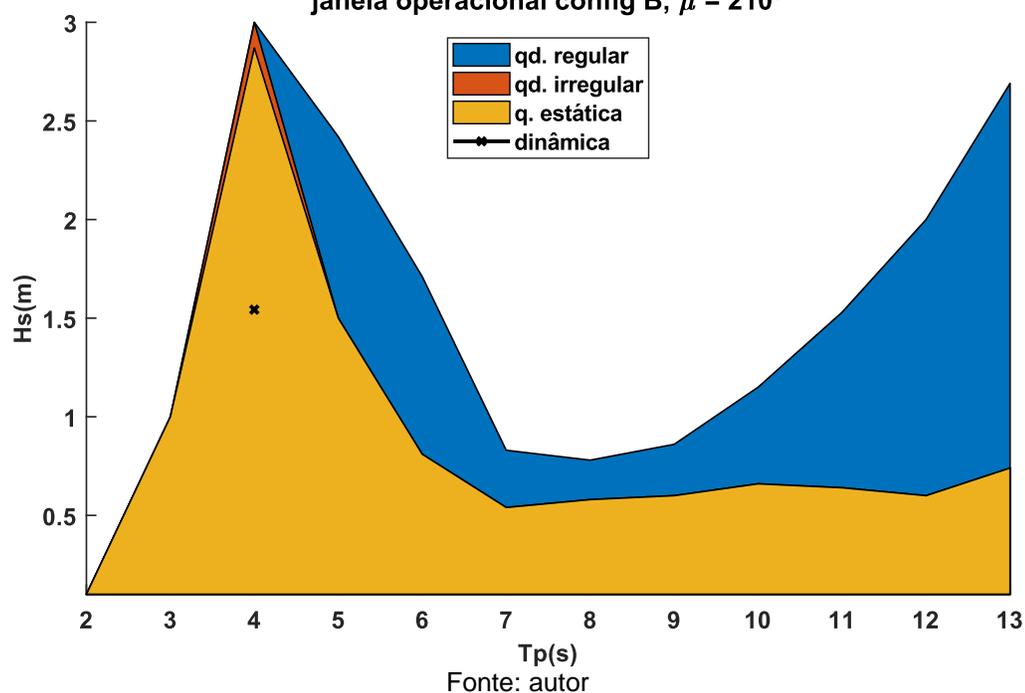


Fonte: autor

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados demonstram a necessidade de uma investigação dinâmica para o completo conhecimento da janela operacional desta embarcação, como também mostra a Figura 105, que representa a comparação entre as análises realizadas no trabalho, para a configuração B, em ondas de incidência de  $210^\circ$ . Nesta figura, o ponto **x** representa o resultado da análise dinâmica para 5 kN de tração mínima.

Figura 105 – Comparação entre as análises para a configuração B, na direção de incidência de  $210^\circ$   
janela operacional config B,  $\mu = 210^\circ$



Existe uma série de modificações que poderiam ser feitas de modo a aumentar a janela operacional. A seguir serão comentadas apenas as medidas que envolvem os equipamentos da barcaça ou recursos adicionais.

- Aumentar a capacidade do tracionador. Isto pode ser feito adotando-se um equipamento mais robusto ou dois tracionadores em série;
- Aumentar o comprimento do *stinger*. Um *stinger* mais longo permite fazer o mesmo lançamento para um maior raio de curvatura, o que diminui a deformação na *overbend*. Entretanto, um *stinger* mais longo também necessita de

reforços estruturais na conexão deste com a barcaça de modo a suportar o maior peso e os esforços hidrodinâmicos exercidos na sua estrutura.

- Adotar modelo de *stinger* flexível na articulação. Um *stinger* deste tipo amortece os impactos nos suportes, diferentemente do modelo rígido usado;
- Adotar uma âncora maior, cuja haste seja mais pesada. Esta medida maximiza a distância a ser percorrida pela embarcação;
- Aumentar a extensão horizontal da posição das âncora. Entretanto, para isso são necessários cabos mais compridos e, conseqüentemente, guinchos com tambores de maior capacidade de armazenamento.
- Aumentar a capacidade dos guinchos;
- Uma medida mais radical é trocar o sistema de ancoragem por sistema de posicionamento dinâmico, o que permitiria maior liberdade para atuação em águas mais profundas e dispensaria os navios de apoio à ancoragem;
- Embora não muito comum em lançamento de dutos, a não ser no método de reboque, flutuadores (Figura 106) são recursos que diminuem a força requerida no tracionador.

Figura 106 – Flutuador para instalação de dutos *offshore*



Fonte: site Advanced Insulation<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Disponível em <[advancedinsulation.com](http://advancedinsulation.com)>. Acesso em 05/12/2018

## 6 CONCLUSÃO

Desde a análise estática já foi possível notar que a escolha da configuração ótima de lançamento não é uma tarefa intuitiva. Os critérios de tensão de deformação se comportam de maneira diferente com as variações de raio de *stinger* e tração, necessitando da avaliação quase-dinâmica para melhor embasamento. A análise quase-dinâmica em onda regular, embora simples, foi determinante na seleção do melhor raio de *stinger* e da faixa de tração estática que melhor se aplica à operação. É até interessante, inclusive, extrair destes resultados um fator de carga dinâmica que não foi considerado na análise estática. Este fator seria de 70-60%, aplicado na capacidade máxima do tracionador. A análise quase-dinâmica em onda irregular funcionou como um atestado da validade dos resultados da análise em onda regular. Esta etapa também forneceu valores mais realistas para a janela operacional da embarcação, pois representam melhor o real estado de mar. Até este ponto, o pleno funcionamento do sistema de ancoragem foi tratado apenas como uma hipótese. A análise quase-estática foi a entrada definitiva do sistema de ancoragem, mostrando que este é a maior limitação das barcaças de segunda geração. A avaliação dinâmica feita neste trabalho, embora tenha sido feita para um arranjo específico e não para a totalidade da janela operacional, mostrou a influência das cargas dinâmicas na ancoragem.

Definiu-se a melhor configuração de lançamento aquela que possui um raio de *stinger* de 300 pés e tração estática no tracionador de aproximadamente 119 kN. Para definição da melhor tração mínima na linha de ancoragem, os resultados obtidos neste trabalho não são suficientes.

Apesar da grande limitação de janela operacional das barcaças de segunda geração, elas representam uma importante classe de embarcações empregadas em águas restritas e de pouca profundidade. De acordo com um levantamento da *Offshore Magazine* feito em 2017, elas constituem um conjunto de 22 barcaças, de um total de 112 embarcações lançadoras de dutos (KAISER, 2017). Embora sejam semelhantes entre si, as limitações de cada uma delas devem ser estudadas separadamente. Este trabalho, além objetivo principal, também buscou construir uma metodologia simplificada que possa ser facilmente aplicada para todas elas.

A metodologia de funil empregada nas análises realizadas no *Orcaflex* serviu não apenas para otimizar tempo e recursos computacionais, como também permitiu a visualização do comportamento da janela operacional em cada uma das etapas. Apesar do trabalho não apresentar uma solução dinâmica da janela operacional, os resultados obtidos até a análise quase-estática fornecem uma boa visão que permite decidir, com dados econômicos, a viabilidade da operação.

A literatura fornece poucos trabalhos deste tipo, e devido às peculiaridades de cada embarcação, duto e equipamentos, a comparação com outros projetos é bastante limitada. Porém, percebe-se coerência nos resultados, sustentados pelos argumentos discorridos e, além disso, a experiência do orientador em projetos dessa natureza fortalece a validade do trabalho.

## 6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Os resultados deste trabalho são bastante representativos da operação de lançamento de dutos *offshore*, porém não levam em conta a total complexidade do problema. A seguir são apresentadas algumas melhorias a serem feitas no modelo *Orcaflex*, nas características avaliadas e nas cargas ambientais introduzidas.

- Melhorias no modelo *Orcaflex*
  - Modelagem do *stinger* com elementos de linha (representando a estrutura tubular) para avaliação das cargas hidrodinâmicas, tornando o *stinger* também um item de análise;
  - Modelo que permite a simulação dinâmica em conjunto com o deslocamento da barça. A versão do programa utilizada neste trabalho não permite, de modo muito acessível, este tipo de artifício, porém, talvez seja possível com programação em *python*, linguagem padrão do *Orcaflex*.

- Características avaliadas

A DNVGL trabalha, no núcleo das suas regras, com critérios de estado limite, que é o estado além do qual a estrutura do duto não mais satisfaz os requerimentos

normativos. Em um projeto completo, os seguintes requisitos da DNVGL seriam interessantes de ser avaliados:

- Dano causado por fadiga: o *Orcaflex* possui a integração com o *software Shear7*, o que facilita este tipo de análise;
- Ovalização do duto.

Outras limitações da barcaça poderiam ter sido utilizadas para a determinação da janela operacional, como por exemplo:

- Água no convés: alguns casos em análise quase-dinâmica foram aprovados para ondas de amplitude maior que a borda livre. Isto poderia ter sido facilmente evitado, adotando-se o critério de água no convés.
- Cargas ambientais
    - Corrente: as correntes oceânicas introduzem cargas significativas na barcaça e efeitos de VIV (Vibração Induzida por Vórtice) no duto;
    - Vento: o vento atua nas obras mortas da embarcação, prejudicando a estabilidade desta e aumentando a reação das linhas de ancoragem;
    - Relevo do leito marinho: além da *overbend* e da *sagbend*, o comprimento que já repousa no fundo do mar também passa a ser de interesse da análise. Para que a disposição do duto seja feita de forma que o vão livre seja minimizado, a força aplicada pelo tracionador exerce um papel fundamental;
    - Na análise estática, utilizar um fator de segurança para cargas dinâmicas. Esta medida reduziria o trabalho desempenhado na análise quase-dinâmica em onda regular;
    - Modelar atrito entre duto e leito marinho;
    - Na análise quase-estática, utilizar um fator de segurança para cargas dinâmicas baseando-se em normas conhecidas, como por exemplo a API 2SK.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Krystal. Deepwater Pipeline Predictions: Transmission and Export Pipeline Demand Lead Slow Recovery in Pipeline Installations. *16 August 2017*, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2zo33K9>>.

ANSYS. *Aqwa Theory Manual*. . Canonsburg: Ansys. , 2015

API. *API Specification 5L*. . Washington, D.C.: API. Disponível em: <[www.api.org](http://www.api.org)>. , 2012

BAI, Qiang; BAI, Yong. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*. 1st. ed. Houston: Elsevier, 2014.

BARRASS, C B. *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. 1st. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2004.

BHATTACHARYYA, Rameswar. *Dynamics of Marine Vehicles*. 1st. ed. Annapolis: Wiley, 1978.

BRAESTRUP, Mikael W. *et al. Design and Installation of Marine Pipelines*. 1st Editio ed. [S.I.]: Blackwell Science, 2005.

CHAPMAN, W. L. *Pipe-laying apparatus*. . United States: United States Patent Office. Disponível em: <[patents.google.com/patent/US1393943](http://patents.google.com/patent/US1393943)>. , 1921

CHILDRESS, J. H. *Barge for submarine pipe laying*. . United States: United States Patent Office. Disponível em: <[patents.google.com/patent/US2215460](http://patents.google.com/patent/US2215460)>. , 1940

DEAN, Robert; DALRYMPLE, Robert. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. 1st. ed. Singapore: World Scientific, 1991.

DIXON, D A; RUTLEDGE, D R. Stiffened Catenary Calculations in Pipeline Laying Problem. *Journal of Engineering for Industry*, 10.1115/1.3604590, v. 90, n. 1, p. 153–160, 1 fev. 1968.

DNV-GL. *DNVGL-ST-F101*. . Oslo: DNV-GL. Disponível em: <[rules.dnvgl.com](http://rules.dnvgl.com)>. , 2017

FALTINSEN, Odd Magnus. *Sea loads on ships and offshore structures*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

GAGGIOTTI, Federico. *Deep Water Pipe Laying: from Mooring-Based Station Keeping to Dynamic Positioning*. 2010. Università Politecnica delle Marche, 2010.

GNONE, Enzo; SIGNORELLI, Piercarlo; GIULIANO, Vincenzo. Three-Dimensional

Static and Dynamic Analysis Of Deep-Water Sealines and Risers. 1975, Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 1975. p. 14. Disponível em: <<https://doi.org/10.4043/2326-MS>>.

GUO, Boyun *et al.* *Offshore Pipelines*. 2nd Ed. ed. [S.l.]: Elsevier, 2014.

HERDIYANTI, Jihan. *Comparisons Study of S-Lay and J-Lay Methods for Pipeline Installation in Ultra Deep Water*. 2013. 1-182 f. Universitetet i Stavanger, 2013.

IMO. *RESOLUTION MSC.267(85)*. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://goo.gl/SEHK92>>. , 2008

JACOVAZZO, Bruno Martins *et al.* Numerical Simulation of the “Floating Spiral” Pipeline Installation Procedure: Second Stage, Spiral Transportation, Behavior Under Waves. 2008, Calgary, Alberta, Canada: ASME, 2008.

JENSEN, Gullik Anthon. *Offshore Pipelaying Dynamics*. 2010. 1-150 f. Norwegian University of Science and Technology, 2010.

JOURNÉE, J.M.J.; MASSIE, W.W. *Offshore Hydromechanics*. 1st. ed. Delft: Delft University, 2001.

KAISER, Mark J. The global offshore pipeline construction service market 2017 – Part I. *Ships and Offshore Structures*, v. 13, n. 1, p. 65–95, 2 jan. 2017.

LOCKWOOD, W. D. *Apparatus for laying pipe*. . United States: United States Patent Office. Disponível em: <[freepatentsonline.com/1569764.html](http://freepatentsonline.com/1569764.html)>. , 1926

MALAHY, Robert C. *A nonlinear finite element method for the analysis of the offshore pipelaying problem*. 1985. Rice University, 1985.

MOUSSELLI, A. H. *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods*. [S.l.]: Pennwell Books, 1981.

ORCINA. *Orcaflex Help*. Disponível em: <[orcina.com](http://orcina.com)>. Acesso em: 4 out. 2018.

OVUNC, Bulent; MALLAREDDY, Bulent. Stress Analysis of Offshore Pipelines Under Dynamic Loads. 1971, Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 1971. p. 6. Disponível em: <<https://doi.org/10.4043/1361-MS>>.

PALMER, A. C. Deepwater Pipelines: Improving State Of The Art. 1994, Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 1994. p. 10. Disponível em: <<https://doi.org/10.4043/7541-MS>>.

PALMER, Andrew C.; KING, Roger A. *Subsea Pipeline Engineering*. 1st. ed.

Oklahoma: PennWell, 2006.

PASQUETTI, Eduardo. *Estabilidade Estática e Dinâmica de Torres Estaiadas*. 2003. 1-99 f. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

POSTLEWAITE, W. R.; PARK, Menlo; MILTON LUDWIG. *Method for laying submarine pipelines*. . United States: United States Patent Office. , 1966

POWERS, J T; FINN, L D. Stress Analysis During of Offshore Pipelines Installation. 1969, Houston, Texas: Offshore Technology Conference, 1969.

SEKITA, Kinki; TANIYAMA, Masaki; NISHIMURA, Kazuto. *The Estimation Of Lay Barge Operating Rates By Model Testing*. *Offshore Technology Conference*. Houston, Texas: Offshore Technology Conference. Disponível em: <<https://doi.org/10.4043/2913-MS>>. , 1977

TANNURI, E. A. *et al*. Dynamic Positioning of a Pipeline Launching Barge. 2002, Kitakyushu, Japan: International Society of Offshore and Polar Engineers, 2002. p. 108–115.

WIKIWAVES. *Waves and the Concept of a Wave Spectrum*. Disponível em: <[wikiwaves.org](http://wikiwaves.org)>. Acesso em: 6 out. 2018.

YADAV, Kamal Singh; VISWANATHAN, Savin; ARUNPRASATH. Mooring Analysis of a Subsea Pipelay Barge. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, v. 1, n. 5, p. 75–86, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2wcpqBx>>.

## **8 APÊNDICE**

### **8.1 Dados hidrodinâmicos**

A seguir são fornecidos todos os dados de massa adicional, amortecimento, RAO, forças hidrodinâmicas (Froude Krylov e Difração) e QTF em forma de tabelas. Para os últimos três, as tabelas são dadas na sequência da direção de incidência, indicada no canto superior esquerdo.

## 8.1.1 Massa adicional

Período	A11	A22	A33	A44	A55	A66
(s)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg*m2)	(kg*m2)	(kg*m2)
2,00	1,89E+05	3,84E+05	2,40E+07	5,89E+08	1,02E+10	2,96E+08
2,05	1,88E+05	3,69E+05	2,40E+07	5,89E+08	1,01E+10	2,91E+08
2,11	1,87E+05	3,53E+05	2,40E+07	5,89E+08	1,01E+10	2,85E+08
2,16	1,86E+05	3,37E+05	2,40E+07	5,90E+08	1,01E+10	2,79E+08
2,22	1,86E+05	3,21E+05	2,40E+07	5,90E+08	1,01E+10	2,74E+08
2,29	1,86E+05	3,06E+05	2,41E+07	5,91E+08	1,01E+10	2,69E+08
2,35	1,87E+05	2,92E+05	2,42E+07	5,91E+08	1,02E+10	2,65E+08
2,42	1,87E+05	2,78E+05	2,42E+07	5,91E+08	1,02E+10	2,61E+08
2,50	1,88E+05	2,64E+05	2,42E+07	5,91E+08	1,02E+10	2,58E+08
2,58	1,88E+05	2,52E+05	2,41E+07	5,91E+08	1,01E+10	2,55E+08
2,67	1,89E+05	2,43E+05	2,39E+07	5,90E+08	1,01E+10	2,54E+08
2,76	1,90E+05	2,38E+05	2,37E+07	5,89E+08	1,00E+10	2,54E+08
2,86	1,91E+05	2,37E+05	2,35E+07	5,88E+08	9,97E+09	2,57E+08
2,96	1,94E+05	2,38E+05	2,33E+07	5,86E+08	9,91E+09	2,60E+08
3,08	1,96E+05	2,45E+05	2,30E+07	5,84E+08	9,83E+09	2,70E+08
3,20	2,00E+05	2,62E+05	2,27E+07	5,83E+08	9,76E+09	2,83E+08
3,33	2,04E+05	2,92E+05	2,24E+07	5,81E+08	9,68E+09	3,01E+08
3,48	2,10E+05	3,30E+05	2,21E+07	5,79E+08	9,62E+09	3,28E+08
3,64	2,16E+05	3,83E+05	2,18E+07	5,78E+08	9,57E+09	3,59E+08
3,81	2,26E+05	4,52E+05	2,15E+07	5,77E+08	9,56E+09	3,95E+08
4,00	2,36E+05	5,37E+05	2,13E+07	5,74E+08	9,55E+09	4,54E+08
4,21	2,47E+05	6,50E+05	2,10E+07	5,72E+08	9,55E+09	5,17E+08
4,44	2,64E+05	7,97E+05	2,07E+07	5,69E+08	9,57E+09	5,80E+08
4,71	2,80E+05	9,61E+05	2,04E+07	5,67E+08	9,60E+09	6,86E+08
5,00	2,96E+05	1,16E+06	2,02E+07	5,66E+08	9,69E+09	8,20E+08
5,33	3,17E+05	1,43E+06	2,00E+07	5,67E+08	9,85E+09	9,36E+08
5,71	3,44E+05	1,75E+06	2,00E+07	5,71E+08	1,01E+10	1,07E+09
6,15	3,70E+05	2,07E+06	2,01E+07	5,82E+08	1,05E+10	1,26E+09
6,67	3,89E+05	2,43E+06	2,05E+07	5,98E+08	1,11E+10	1,51E+09
7,27	4,05E+05	2,85E+06	2,12E+07	6,20E+08	1,21E+10	1,70E+09
8,00	4,30E+05	3,27E+06	2,25E+07	6,52E+08	1,35E+10	1,76E+09
8,89	4,68E+05	3,58E+06	2,48E+07	6,86E+08	1,50E+10	1,70E+09
10,00	5,12E+05	3,68E+06	2,80E+07	7,12E+08	1,66E+10	1,57E+09
11,43	5,45E+05	3,58E+06	3,22E+07	7,21E+08	1,78E+10	1,45E+09
13,33	5,55E+05	3,35E+06	3,70E+07	7,15E+08	1,82E+10	1,36E+09
16,00	5,39E+05	3,12E+06	4,18E+07	7,02E+08	1,79E+10	1,30E+09
20,00	5,12E+05	2,93E+06	4,53E+07	6,90E+08	1,71E+10	1,26E+09
26,67	4,90E+05	2,81E+06	4,73E+07	6,81E+08	1,65E+10	1,23E+09
40,00	4,77E+05	2,74E+06	4,90E+07	6,76E+08	1,61E+10	1,22E+09

Período	A13	A15	A24	A26	A35	A46
(s)	(kg)	(kg*m)	(kg*m)	(kg*m)	(kg*m)	(kg*m2)
2,00	2,68E+05	2,70E+07	-2,70E+06	-3,45E+06	2,36E+07	-3,50E+07
2,05	2,67E+05	2,68E+07	-2,59E+06	-3,45E+06	2,33E+07	-3,54E+07
2,11	2,70E+05	2,66E+07	-2,45E+06	-3,43E+06	2,33E+07	-3,58E+07
2,16	2,73E+05	2,66E+07	-2,29E+06	-3,43E+06	2,36E+07	-3,63E+07
2,22	2,77E+05	2,65E+07	-2,13E+06	-3,42E+06	2,39E+07	-3,68E+07
2,29	2,83E+05	2,65E+07	-1,92E+06	-3,41E+06	2,44E+07	-3,73E+07
2,35	2,90E+05	2,65E+07	-1,68E+06	-3,43E+06	2,50E+07	-3,78E+07
2,42	2,95E+05	2,65E+07	-1,43E+06	-3,42E+06	2,55E+07	-3,82E+07
2,50	3,00E+05	2,64E+07	-1,19E+06	-3,42E+06	2,60E+07	-3,89E+07
2,58	3,04E+05	2,63E+07	-9,08E+05	-3,40E+06	2,64E+07	-3,97E+07
2,67	3,05E+05	2,62E+07	-5,88E+05	-3,39E+06	2,67E+07	-4,05E+07
2,76	3,08E+05	2,61E+07	-2,22E+05	-3,38E+06	2,67E+07	-4,14E+07
2,86	3,07E+05	2,59E+07	1,84E+05	-3,37E+06	2,70E+07	-4,22E+07
2,96	3,10E+05	2,58E+07	5,57E+05	-3,35E+06	2,70E+07	-4,30E+07
3,08	3,08E+05	2,57E+07	9,17E+05	-3,37E+06	2,73E+07	-4,38E+07
3,20	3,10E+05	2,57E+07	1,36E+06	-3,39E+06	2,72E+07	-4,53E+07
3,33	3,07E+05	2,57E+07	1,80E+06	-3,43E+06	2,75E+07	-4,73E+07
3,48	3,07E+05	2,59E+07	2,27E+06	-3,49E+06	2,73E+07	-4,96E+07
3,64	3,02E+05	2,61E+07	2,68E+06	-3,57E+06	2,75E+07	-5,17E+07
3,81	3,03E+05	2,67E+07	2,94E+06	-3,66E+06	2,78E+07	-5,43E+07
4,00	2,98E+05	2,72E+07	3,18E+06	-3,78E+06	2,82E+07	-5,62E+07
4,21	2,93E+05	2,80E+07	3,43E+06	-3,96E+06	2,85E+07	-5,70E+07
4,44	2,91E+05	2,90E+07	3,47E+06	-4,19E+06	2,90E+07	-5,79E+07
4,71	2,87E+05	2,99E+07	3,21E+06	-4,43E+06	2,97E+07	-5,85E+07
5,00	2,85E+05	3,11E+07	2,72E+06	-4,69E+06	3,06E+07	-5,69E+07
5,33	2,84E+05	3,28E+07	1,78E+06	-4,97E+06	3,15E+07	-5,30E+07
5,71	2,83E+05	3,46E+07	1,56E+05	-5,23E+06	3,23E+07	-4,89E+07
6,15	2,77E+05	3,64E+07	-2,05E+06	-5,44E+06	3,30E+07	-4,53E+07
6,67	2,68E+05	3,85E+07	-4,74E+06	-5,61E+06	3,39E+07	-3,86E+07
7,27	2,64E+05	4,24E+07	-8,11E+06	-5,75E+06	3,53E+07	-2,79E+07
8,00	2,70E+05	4,90E+07	-1,21E+07	-5,86E+06	3,78E+07	-1,74E+07
8,89	2,81E+05	5,76E+07	-1,58E+07	-5,91E+06	4,17E+07	-1,21E+07
10,00	2,86E+05	6,64E+07	-1,80E+07	-5,90E+06	4,73E+07	-1,22E+07
11,43	2,80E+05	7,32E+07	-1,82E+07	-5,82E+06	5,40E+07	-1,50E+07
13,33	2,68E+05	7,57E+07	-1,70E+07	-5,69E+06	6,12E+07	-1,83E+07
16,00	2,57E+05	7,35E+07	-1,53E+07	-5,54E+06	6,81E+07	-2,10E+07
20,00	2,53E+05	6,91E+07	-1,39E+07	-5,43E+06	7,29E+07	-2,29E+07
26,67	2,54E+05	6,55E+07	-1,30E+07	-5,36E+06	7,53E+07	-2,42E+07
40,00	2,57E+05	6,33E+07	-1,24E+07	-5,31E+06	7,76E+07	-2,49E+07

## 8.1.2 Amortecimientos

Periodo (s)	B11 (kg/s)	B22 (kg/s)	B33 (kg/s)	B44 (kg*m2/s)	B55 (kg*m2/s)	B66 (kg*m2/s)
2,00	1,47E+05	1,01E+06	8,89E+05	2,44E+07	1,04E+09	5,49E+08
2,05	1,57E+05	1,07E+06	1,38E+06	2,82E+07	1,29E+09	5,75E+08
2,11	1,67E+05	1,13E+06	1,83E+06	3,15E+07	1,52E+09	6,01E+08
2,16	1,76E+05	1,20E+06	2,21E+06	3,40E+07	1,72E+09	6,31E+08
2,22	1,85E+05	1,27E+06	2,49E+06	3,55E+07	1,88E+09	6,64E+08
2,29	1,94E+05	1,34E+06	2,65E+06	3,58E+07	2,00E+09	6,97E+08
2,35	2,02E+05	1,41E+06	2,66E+06	3,52E+07	2,06E+09	7,31E+08
2,42	2,09E+05	1,49E+06	2,53E+06	3,42E+07	2,08E+09	7,66E+08
2,50	2,16E+05	1,57E+06	2,29E+06	3,37E+07	2,06E+09	8,03E+08
2,58	2,23E+05	1,66E+06	2,02E+06	3,33E+07	2,04E+09	8,43E+08
2,67	2,30E+05	1,76E+06	1,83E+06	3,23E+07	2,03E+09	8,85E+08
2,76	2,38E+05	1,86E+06	1,75E+06	3,11E+07	2,06E+09	9,29E+08
2,86	2,45E+05	1,95E+06	1,75E+06	3,00E+07	2,13E+09	9,73E+08
2,96	2,54E+05	2,05E+06	1,83E+06	3,04E+07	2,21E+09	1,02E+09
3,08	2,61E+05	2,17E+06	2,00E+06	3,25E+07	2,33E+09	1,07E+09
3,20	2,68E+05	2,28E+06	2,26E+06	3,35E+07	2,46E+09	1,12E+09
3,33	2,76E+05	2,39E+06	2,61E+06	3,47E+07	2,64E+09	1,17E+09
3,48	2,81E+05	2,49E+06	3,03E+06	3,62E+07	2,82E+09	1,21E+09
3,64	2,89E+05	2,59E+06	3,48E+06	3,77E+07	3,04E+09	1,24E+09
3,81	2,92E+05	2,68E+06	3,99E+06	3,84E+07	3,26E+09	1,29E+09
4,00	2,94E+05	2,76E+06	4,54E+06	4,14E+07	3,50E+09	1,32E+09
4,21	2,96E+05	2,84E+06	5,15E+06	4,61E+07	3,73E+09	1,33E+09
4,44	2,95E+05	2,88E+06	5,81E+06	5,23E+07	3,97E+09	1,35E+09
4,71	2,87E+05	2,89E+06	6,52E+06	6,01E+07	4,23E+09	1,36E+09
5,00	2,79E+05	2,89E+06	7,32E+06	6,88E+07	4,51E+09	1,32E+09
5,33	2,72E+05	2,85E+06	8,19E+06	7,89E+07	4,79E+09	1,24E+09
5,71	2,57E+05	2,72E+06	9,09E+06	9,02E+07	5,07E+09	1,19E+09
6,15	2,33E+05	2,53E+06	9,99E+06	9,96E+07	5,37E+09	1,11E+09
6,67	2,06E+05	2,30E+06	1,09E+07	1,05E+08	5,64E+09	9,35E+08
7,27	1,87E+05	2,00E+06	1,18E+07	1,07E+08	5,71E+09	6,66E+08
8,00	1,73E+05	1,60E+06	1,25E+07	1,00E+08	5,44E+09	3,88E+08
8,89	1,52E+05	1,12E+06	1,30E+07	8,26E+07	4,78E+09	1,79E+08
10,00	1,20E+05	6,62E+05	1,28E+07	5,65E+07	3,78E+09	6,45E+07
11,43	8,02E+04	3,21E+05	1,18E+07	3,11E+07	2,56E+09	1,79E+07
13,33	4,21E+04	1,24E+05	1,01E+07	1,34E+07	1,38E+09	3,74E+06
16,00	1,62E+04	3,74E+04	7,70E+06	4,41E+06	5,55E+08	5,65E+05
20,00	4,60E+03	9,03E+03	5,13E+06	1,14E+06	1,69E+08	6,47E+04
26,67	1,09E+03	1,93E+03	3,11E+06	2,58E+05	4,55E+07	6,30E+03
40,00	2,10E+02	3,52E+02	1,75E+06	4,88E+04	1,17E+07	4,81E+02

Periodo	B13	B15	B24	B26	B35	B46
(s)	(kg/s)	(kg*m/s)	(kg*m/s)	(kg*m/s)	(kg*m/s)	(kg*m2/s)
2,00	-4,93E+03	1,05E+07	1,72E+06	-1,31E+06	1,11E+07	-1,52E+07
2,05	1,56E+04	1,18E+07	1,89E+06	-1,30E+06	1,43E+07	-1,59E+07
2,11	3,30E+04	1,30E+07	2,05E+06	-1,31E+06	1,72E+07	-1,64E+07
2,16	4,75E+04	1,42E+07	2,18E+06	-1,35E+06	1,97E+07	-1,68E+07
2,22	5,76E+04	1,52E+07	2,30E+06	-1,41E+06	2,17E+07	-1,71E+07
2,29	6,32E+04	1,61E+07	2,41E+06	-1,47E+06	2,32E+07	-1,70E+07
2,35	6,49E+04	1,68E+07	2,47E+06	-1,52E+06	2,42E+07	-1,72E+07
2,42	6,18E+04	1,74E+07	2,44E+06	-1,54E+06	2,48E+07	-1,70E+07
2,50	5,46E+04	1,78E+07	2,42E+06	-1,57E+06	2,48E+07	-1,72E+07
2,58	4,71E+04	1,84E+07	2,43E+06	-1,62E+06	2,46E+07	-1,75E+07
2,67	3,60E+04	1,88E+07	2,43E+06	-1,69E+06	2,43E+07	-1,72E+07
2,76	2,90E+04	1,96E+07	2,33E+06	-1,77E+06	2,42E+07	-1,70E+07
2,86	2,00E+04	2,03E+07	1,72E+06	-1,86E+06	2,42E+07	-1,61E+07
2,96	1,40E+04	2,11E+07	1,18E+06	-1,96E+06	2,43E+07	-1,61E+07
3,08	5,69E+03	2,20E+07	4,86E+05	-2,15E+06	2,41E+07	-1,52E+07
3,20	-1,86E+03	2,29E+07	-1,29E+05	-2,34E+06	2,43E+07	-1,50E+07
3,33	-7,23E+03	2,39E+07	-1,05E+06	-2,47E+06	2,40E+07	-1,45E+07
3,48	-1,87E+04	2,48E+07	-2,00E+06	-2,58E+06	2,45E+07	-1,22E+07
3,64	-1,93E+04	2,61E+07	-3,37E+06	-2,67E+06	2,43E+07	-9,56E+06
3,81	-2,97E+04	2,70E+07	-4,86E+06	-2,75E+06	2,50E+07	-5,85E+06
4,00	-3,02E+04	2,80E+07	-6,16E+06	-2,83E+06	2,47E+07	-1,56E+05
4,21	-3,20E+04	2,87E+07	-7,59E+06	-2,89E+06	2,54E+07	5,01E+06
4,44	-2,81E+04	2,93E+07	-9,19E+06	-2,86E+06	2,54E+07	9,64E+06
4,71	-2,83E+04	2,95E+07	-1,07E+07	-2,75E+06	2,57E+07	1,57E+07
5,00	-2,49E+04	3,00E+07	-1,22E+07	-2,60E+06	2,55E+07	2,22E+07
5,33	-2,28E+04	3,01E+07	-1,36E+07	-2,38E+06	2,50E+07	2,64E+07
5,71	-2,41E+04	2,98E+07	-1,48E+07	-2,07E+06	2,46E+07	2,79E+07
6,15	-2,50E+04	2,94E+07	-1,52E+07	-1,75E+06	2,42E+07	2,96E+07
6,67	-2,01E+04	2,96E+07	-1,51E+07	-1,42E+06	2,41E+07	3,17E+07
7,27	-1,02E+04	3,01E+07	-1,43E+07	-1,13E+06	2,43E+07	3,00E+07
8,00	-1,99E+03	2,94E+07	-1,25E+07	-8,33E+05	2,44E+07	2,30E+07
8,89	-2,09E+03	2,64E+07	-9,53E+06	-5,67E+05	2,41E+07	1,40E+07
10,00	-8,51E+03	2,10E+07	-6,07E+06	-3,45E+05	2,27E+07	6,93E+06
11,43	-1,35E+04	1,41E+07	-3,13E+06	-1,74E+05	2,02E+07	2,85E+06
13,33	-1,31E+04	7,50E+06	-1,28E+06	-6,86E+04	1,67E+07	9,67E+05
16,00	-8,79E+03	2,91E+06	-4,03E+05	-2,07E+04	1,24E+07	2,65E+05
20,00	-4,16E+03	8,37E+05	-1,01E+05	-4,95E+03	8,07E+06	6,04E+04
26,67	-1,46E+03	2,00E+05	-2,22E+04	-1,05E+03	4,83E+06	1,26E+04
40,00	-3,60E+02	3,87E+04	-4,12E+03	-1,89E+02	2,69E+06	2,26E+03

## 8.1.3 RAO

0	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	70,40	0,00	0,00	0,00	70,91	0,00	0,00	0,01	70,51	0,00	0,00
2,05	0,00	198,97	0,00	0,00	0,00	200,14	0,00	0,00	0,01	199,71	0,00	0,00
2,11	0,00	324,50	0,00	0,00	0,00	325,82	0,00	0,00	0,02	325,54	0,00	0,00
2,16	0,00	87,80	0,00	0,00	0,00	88,05	0,00	0,00	0,02	87,96	0,00	0,00
2,22	0,00	205,59	0,00	0,00	0,00	207,70	0,00	0,00	0,02	206,48	0,00	0,00
2,29	0,00	321,99	0,00	0,00	0,01	322,52	0,00	0,00	0,02	322,63	0,00	0,00
2,35	0,00	73,56	0,00	0,00	0,01	75,28	0,00	0,00	0,02	74,55	0,00	0,00
2,42	0,00	183,00	0,00	0,00	0,01	184,04	0,00	0,00	0,02	183,41	0,00	0,00
2,50	0,01	286,95	0,00	0,00	0,01	289,98	0,00	0,00	0,03	288,98	0,00	0,00
2,58	0,01	31,60	0,00	0,00	0,01	32,01	0,00	0,00	0,03	31,75	0,00	0,00
2,67	0,01	127,20	0,00	0,00	0,01	132,38	0,00	0,00	0,03	130,07	0,00	0,00
2,76	0,01	226,65	0,00	0,00	0,01	226,88	0,00	0,00	0,04	226,99	0,00	0,00
2,86	0,01	315,40	0,00	0,00	0,01	321,23	0,00	0,00	0,04	318,17	0,00	0,00
2,96	0,01	47,14	0,00	0,00	0,01	48,86	0,00	0,00	0,05	48,56	0,00	0,00
3,08	0,01	132,40	0,00	0,00	0,01	136,15	0,00	0,00	0,06	133,14	0,00	0,00
3,20	0,01	212,85	0,00	0,00	0,02	217,88	0,00	0,00	0,06	216,37	0,00	0,00
3,33	0,01	297,00	0,00	0,00	0,02	297,23	0,00	266,79	0,07	295,14	0,00	0,00
3,48	0,01	9,27	0,00	0,00	0,02	13,77	0,00	333,68	0,08	10,44	0,00	0,00
3,64	0,01	80,74	0,00	0,00	0,03	84,78	0,00	31,64	0,10	83,68	0,00	0,00
3,81	0,01	158,77	0,00	0,00	0,03	154,72	0,00	93,89	0,12	150,84	0,00	0,00
4,00	0,02	215,13	0,00	0,00	0,04	218,75	0,00	132,38	0,14	216,68	0,00	0,00
4,21	0,01	275,39	0,00	0,00	0,05	279,45	0,00	208,08	0,17	278,14	0,00	0,00
4,44	0,02	352,86	0,00	0,00	0,05	337,53	0,00	266,04	0,20	334,71	0,00	0,00
4,71	0,02	37,11	0,00	0,00	0,07	30,75	0,00	300,50	0,24	28,82	0,00	0,00
5,00	0,02	71,96	0,00	0,00	0,08	78,07	0,00	334,84	0,29	81,43	0,00	0,00
5,33	0,01	152,74	0,00	0,00	0,10	122,77	0,00	22,85	0,38	128,42	0,00	166,03
5,71	0,02	238,74	0,00	0,00	0,12	166,75	0,00	55,05	0,50	166,24	0,00	0,00
6,15	0,03	264,77	0,00	80,90	0,17	200,09	0,00	21,34	0,58	201,08	0,00	0,00
6,67	0,01	248,49	0,00	0,00	0,19	219,65	0,00	339,83	0,73	243,92	0,00	0,00
7,27	0,08	114,00	0,00	0,00	0,15	242,99	0,00	342,45	1,26	272,30	0,00	0,00
8,00	0,24	106,65	0,00	0,00	0,13	316,52	0,00	350,04	1,91	277,10	0,00	0,00
8,89	0,44	98,67	0,00	0,00	0,31	353,07	0,00	2,90	2,19	272,73	0,00	0,00
10,00	0,61	93,29	0,00	0,00	0,53	359,62	0,00	0,00	2,03	268,80	0,00	0,00
11,43	0,74	91,07	0,00	0,00	0,72	0,57	0,00	0,00	1,66	267,57	0,00	0,00
13,33	0,84	90,38	0,00	0,00	0,85	0,31	0,00	0,00	1,27	267,80	0,00	0,00
16,00	0,92	90,20	0,00	0,00	0,92	0,15	0,00	0,00	0,91	268,40	0,00	0,00
20,00	1,03	90,13	0,00	0,00	0,96	0,05	0,00	0,00	0,62	268,92	0,00	0,00
26,67	1,23	90,09	0,00	0,00	0,98	0,01	0,00	0,00	0,41	269,30	0,00	0,00
40,00	1,72	90,07	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,25	269,57	0,00	0,00

30	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	180,90	0,00	291,20	0,00	177,44	0,01	314,69	0,00	184,51	0,00	130,23
2,05	0,00	309,47	0,00	317,72	0,00	314,18	0,01	76,52	0,00	313,15	0,00	195,28
2,11	0,00	71,46	0,00	51,94	0,00	76,01	0,01	186,63	0,00	71,11	0,00	219,42
2,16	0,00	188,87	0,00	126,94	0,00	184,99	0,01	312,06	0,00	186,46	0,00	323,86
2,22	0,00	293,57	0,00	231,58	0,00	294,46	0,00	68,38	0,00	292,29	0,00	48,65
2,29	0,00	35,97	0,00	327,14	0,00	38,42	0,00	233,30	0,00	37,72	0,00	144,51
2,35	0,00	140,57	0,00	52,93	0,00	139,02	0,01	3,81	0,00	139,15	0,00	242,45
2,42	0,00	234,46	0,00	156,17	0,00	241,74	0,01	120,54	0,00	238,47	0,00	323,59
2,50	0,00	332,78	0,00	229,75	0,00	339,35	0,02	214,44	0,00	340,06	0,00	60,98
2,58	0,00	76,22	0,00	314,94	0,00	92,74	0,03	312,64	0,00	83,04	0,01	139,90
2,67	0,00	155,97	0,00	42,53	0,00	212,62	0,04	40,50	0,00	213,30	0,00	212,00
2,76	0,00	317,34	0,00	94,55	0,00	353,32	0,05	124,67	0,00	335,91	0,01	304,75
2,86	0,00	60,53	0,00	172,70	0,00	87,07	0,06	211,73	0,01	85,39	0,01	8,41
2,96	0,00	173,51	0,00	256,21	0,00	174,12	0,08	288,17	0,01	173,07	0,01	69,99
3,08	0,00	254,95	0,00	305,83	0,00	256,57	0,09	4,72	0,02	252,55	0,01	157,68
3,20	0,00	314,25	0,00	345,62	0,01	332,32	0,11	82,00	0,02	328,88	0,01	224,38
3,33	0,00	47,58	0,00	108,95	0,01	40,66	0,13	150,04	0,03	42,91	0,01	265,12
3,48	0,01	114,09	0,01	152,56	0,01	114,15	0,15	216,63	0,04	106,74	0,01	336,52
3,64	0,01	156,77	0,01	177,09	0,02	175,72	0,17	283,84	0,05	175,42	0,02	68,07
3,81	0,01	225,16	0,00	240,57	0,02	236,55	0,20	347,53	0,07	236,36	0,03	103,05
4,00	0,01	311,78	0,01	11,41	0,03	297,41	0,24	43,45	0,09	291,18	0,03	130,48
4,21	0,02	343,74	0,01	25,50	0,03	350,74	0,25	98,54	0,12	347,53	0,01	221,73
4,44	0,02	8,45	0,01	29,08	0,04	39,35	0,29	159,50	0,15	41,76	0,04	301,76
4,71	0,01	79,12	0,00	307,15	0,05	87,53	0,39	210,35	0,21	89,40	0,08	319,49
5,00	0,02	168,75	0,02	250,27	0,07	135,51	0,47	252,03	0,28	130,20	0,08	330,53
5,33	0,03	191,19	0,04	245,99	0,10	176,18	0,55	305,43	0,34	168,31	0,04	344,10
5,71	0,03	198,69	0,02	237,56	0,14	204,48	1,27	350,30	0,40	210,76	0,04	151,84
6,15	0,03	168,26	0,05	1,87	0,16	223,90	3,06	320,31	0,62	253,43	0,15	169,61
6,67	0,06	125,51	0,03	339,19	0,14	247,95	1,15	280,23	1,09	276,87	0,28	170,63
7,27	0,16	113,95	0,06	78,90	0,13	306,64	0,19	341,02	1,69	283,09	0,38	173,88
8,00	0,31	106,43	0,15	86,11	0,26	346,46	0,51	65,64	2,15	280,19	0,44	176,86
8,89	0,48	98,55	0,23	87,83	0,45	357,31	0,73	75,01	2,20	273,79	0,46	178,54
10,00	0,60	93,28	0,30	88,81	0,64	0,13	0,78	79,60	1,90	269,36	0,44	179,21
11,43	0,69	91,09	0,37	89,43	0,78	0,51	0,71	82,74	1,51	267,96	0,39	179,42
13,33	0,75	90,40	0,42	89,75	0,88	0,24	0,58	85,01	1,13	268,07	0,31	179,51
16,00	0,81	90,22	0,46	89,90	0,94	0,12	0,43	86,65	0,80	268,59	0,24	179,60
20,00	0,90	90,14	0,51	89,96	0,97	0,04	0,30	87,79	0,54	269,04	0,18	179,68
26,67	1,07	90,10	0,62	89,98	0,99	0,01	0,20	88,57	0,36	269,38	0,14	179,76
40,00	1,49	90,08	0,86	89,99	1,00	0,00	0,12	89,13	0,22	269,62	0,12	179,83

60	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	57,40	0,00	12,67	0,00	72,14	0,00	249,30	0,00	56,27	0,00	199,44
2,05	0,00	162,87	0,00	345,54	0,00	149,01	0,00	334,65	0,00	163,67	0,00	340,88
2,11	0,00	263,59	0,00	320,71	0,00	253,25	0,00	66,73	0,00	243,85	0,00	127,22
2,16	0,00	354,94	0,00	15,49	0,00	349,92	0,00	173,31	0,00	346,62	0,00	209,24
2,22	0,00	82,14	0,00	70,56	0,00	93,03	0,01	258,63	0,00	81,51	0,00	275,85
2,29	0,00	215,96	0,00	142,17	0,00	167,92	0,01	335,95	0,00	180,84	0,00	326,07
2,35	0,00	261,54	0,00	233,50	0,00	256,18	0,01	69,25	0,00	255,65	0,00	0,81
2,42	0,00	306,05	0,00	275,94	0,00	345,53	0,01	178,64	0,00	323,22	0,00	358,50
2,50	0,00	48,68	0,00	258,02	0,00	50,92	0,02	241,15	0,00	54,82	0,00	310,74
2,58	0,00	155,03	0,00	242,65	0,00	127,41	0,02	300,83	0,00	144,74	0,00	342,73
2,67	0,00	221,42	0,00	265,74	0,00	237,57	0,02	16,95	0,00	214,48	0,00	111,43
2,76	0,00	282,04	0,00	296,80	0,00	306,04	0,02	91,36	0,00	294,02	0,00	183,03
2,86	0,00	341,85	0,00	336,84	0,00	359,93	0,02	155,02	0,01	13,14	0,01	221,26
2,96	0,00	73,17	0,00	144,66	0,00	62,76	0,03	217,13	0,01	66,98	0,01	253,04
3,08	0,00	144,74	0,00	188,83	0,00	129,38	0,02	289,00	0,01	116,21	0,01	278,67
3,20	0,00	179,45	0,01	220,16	0,00	188,20	0,03	13,48	0,01	172,15	0,00	250,85
3,33	0,00	206,62	0,00	248,92	0,00	239,40	0,05	80,57	0,01	248,87	0,01	179,38
3,48	0,00	224,50	0,00	274,09	0,00	307,05	0,09	130,96	0,01	320,09	0,02	199,68
3,64	0,00	180,72	0,00	127,43	0,00	35,02	0,13	172,72	0,02	18,36	0,04	221,53
3,81	0,00	112,97	0,01	142,24	0,01	98,00	0,16	213,84	0,03	70,35	0,04	240,84
4,00	0,01	117,97	0,03	157,41	0,01	141,20	0,20	256,07	0,04	121,03	0,02	261,51
4,21	0,01	126,12	0,03	170,85	0,02	175,25	0,25	301,46	0,05	174,53	0,01	70,75
4,44	0,02	135,44	0,03	182,33	0,03	204,16	0,36	342,16	0,10	222,46	0,07	98,45
4,71	0,02	142,24	0,03	188,68	0,04	235,33	0,52	13,88	0,18	256,97	0,14	115,13
5,00	0,02	144,67	0,01	151,97	0,05	271,66	0,70	40,62	0,32	282,25	0,22	128,97
5,33	0,03	141,63	0,03	73,23	0,07	315,41	0,86	68,02	0,54	299,74	0,31	141,02
5,71	0,05	137,34	0,07	71,31	0,13	351,10	1,25	110,91	0,89	309,42	0,41	150,98
6,15	0,09	132,29	0,15	103,74	0,25	6,71	4,12	110,10	1,34	310,67	0,48	157,09
6,67	0,16	124,61	0,29	88,61	0,42	8,71	3,63	75,60	1,77	304,48	0,52	165,32
7,27	0,25	115,96	0,39	86,42	0,58	5,79	2,94	75,39	1,99	295,03	0,56	171,97
8,00	0,33	107,19	0,48	87,13	0,71	3,19	2,54	78,54	1,95	284,91	0,57	176,14
8,89	0,40	98,86	0,57	88,17	0,81	1,71	2,18	81,49	1,66	275,84	0,55	178,20
10,00	0,43	93,55	0,65	89,01	0,88	0,88	1,81	83,91	1,28	270,60	0,49	178,98
11,43	0,45	91,30	0,72	89,55	0,93	0,41	1,44	85,75	0,95	268,86	0,41	179,23
13,33	0,46	90,54	0,77	89,82	0,96	0,10	1,09	87,10	0,68	268,73	0,32	179,35
16,00	0,48	90,32	0,82	89,93	0,98	0,05	0,78	88,06	0,47	269,04	0,24	179,45
20,00	0,52	90,21	0,90	89,98	0,99	0,02	0,54	88,72	0,32	269,35	0,18	179,55
26,67	0,62	90,15	1,07	89,99	1,00	0,01	0,35	89,17	0,21	269,58	0,14	179,65
40,00	0,86	90,12	1,49	90,00	1,00	0,00	0,22	89,50	0,13	269,74	0,12	179,75

90	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	29,08	0,02	108,82	0,00	93,62	0,02	105,69	0,00	71,03	0,00	272,56
2,05	0,00	60,88	0,02	146,64	0,00	155,11	0,02	147,17	0,00	108,38	0,00	312,06
2,11	0,00	100,45	0,02	184,37	0,00	194,48	0,03	186,60	0,00	155,75	0,01	348,45
2,16	0,00	148,56	0,02	221,99	0,00	225,86	0,03	222,08	0,00	199,15	0,01	23,05
2,22	0,00	194,04	0,03	258,15	0,00	257,24	0,03	255,04	0,00	234,29	0,01	56,78
2,29	0,00	230,85	0,03	292,53	0,00	291,05	0,03	287,42	0,00	266,24	0,01	89,92
2,35	0,00	264,76	0,03	325,76	0,00	328,34	0,03	322,30	0,00	303,75	0,01	122,60
2,42	0,00	299,63	0,04	358,67	0,00	4,82	0,03	0,75	0,00	348,88	0,01	154,45
2,50	0,00	335,27	0,04	31,06	0,00	37,23	0,03	33,74	0,00	30,46	0,01	184,27
2,58	0,00	5,59	0,05	61,80	0,01	64,42	0,03	58,54	0,00	59,43	0,01	211,35
2,67	0,00	30,54	0,05	90,99	0,01	91,38	0,03	80,88	0,00	82,09	0,01	236,23
2,76	0,00	50,75	0,06	119,07	0,01	123,22	0,02	103,01	0,00	103,14	0,01	260,34
2,86	0,00	69,89	0,06	146,59	0,01	154,77	0,02	126,81	0,01	127,16	0,01	285,06
2,96	0,00	89,67	0,07	173,56	0,01	182,87	0,01	150,05	0,01	154,09	0,01	310,64
3,08	0,00	109,35	0,08	199,02	0,02	208,25	0,01	90,30	0,01	182,30	0,01	336,60
3,20	0,00	131,04	0,09	222,75	0,02	231,97	0,03	78,52	0,01	207,16	0,02	0,64
3,33	0,00	150,65	0,11	245,06	0,03	254,83	0,06	89,95	0,01	227,76	0,02	21,67
3,48	0,00	168,19	0,12	266,37	0,03	277,76	0,11	107,75	0,01	242,60	0,02	41,21
3,64	0,01	183,19	0,14	286,48	0,04	298,85	0,18	125,37	0,02	255,83	0,02	57,89
3,81	0,01	194,47	0,16	305,45	0,06	318,29	0,28	141,22	0,02	266,25	0,02	74,67
4,00	0,01	203,48	0,18	323,14	0,07	336,54	0,42	156,90	0,02	276,03	0,02	90,69
4,21	0,01	213,42	0,20	339,47	0,10	353,20	0,63	171,80	0,03	286,06	0,03	105,88
4,44	0,01	220,85	0,23	354,07	0,14	8,00	0,96	184,60	0,03	296,21	0,03	120,34
4,71	0,01	226,63	0,26	7,13	0,19	20,52	1,47	195,41	0,03	307,82	0,03	136,17
5,00	0,02	231,59	0,29	17,52	0,27	30,05	2,33	204,31	0,04	318,62	0,04	150,66
5,33	0,02	233,69	0,32	23,27	0,39	35,53	4,03	209,22	0,05	326,15	0,05	160,69
5,71	0,02	228,91	0,29	18,45	0,56	35,88	8,29	204,16	0,07	325,09	0,07	165,82
6,15	0,03	215,52	0,16	159,11	0,76	30,76	18,71	152,55	0,09	311,04	0,13	124,77
6,67	0,03	196,19	0,56	97,99	0,93	21,68	10,24	98,14	0,10	286,37	0,06	77,40
7,27	0,02	176,51	0,64	89,12	1,02	12,42	6,00	89,42	0,09	258,03	0,03	75,84
8,00	0,01	162,40	0,71	88,12	1,04	5,99	4,19	88,30	0,07	230,35	0,02	81,45
8,89	0,01	161,91	0,77	88,64	1,03	2,50	3,13	88,71	0,04	206,61	0,01	85,91
10,00	0,01	171,81	0,83	89,27	1,01	0,88	2,38	89,29	0,02	191,04	0,01	88,22
11,43	0,00	177,72	0,88	89,69	1,00	0,23	1,79	89,70	0,01	183,50	0,01	89,18
13,33	0,00	179,21	0,92	89,90	1,00	359,98	1,31	89,89	0,00	180,58	0,00	89,50
16,00	0,00	180,05	0,96	89,97	1,00	0,00	0,92	89,97	0,00	179,98	0,00	89,44
20,00	0,00	180,12	1,04	89,99	1,00	0,00	0,62	89,99	0,00	179,87	0,00	89,31
26,67	0,00	180,12	1,24	90,00	1,00	0,00	0,41	89,99	0,00	179,89	0,00	88,89
40,00	0,00	180,08	1,72	90,00	1,00	0,00	0,25	89,99	0,00	179,93	0,00	86,96

120	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	148,52	0,00	314,67	0,00	347,48	0,00	172,30	0,00	141,71	0,00	336,36
2,05	0,00	237,89	0,00	44,52	0,00	41,54	0,00	186,69	0,00	278,77	0,01	47,09
2,11	0,00	310,28	0,00	134,07	0,00	160,44	0,00	137,06	0,00	317,89	0,00	114,71
2,16	0,00	25,60	0,00	200,95	0,00	231,92	0,01	81,59	0,00	19,88	0,00	212,28
2,22	0,00	107,70	0,00	271,15	0,00	284,40	0,01	87,52	0,00	145,13	0,01	292,61
2,29	0,00	180,06	0,00	4,72	0,00	353,91	0,00	83,16	0,00	202,06	0,01	346,82
2,35	0,00	243,60	0,00	72,29	0,00	100,32	0,01	337,85	0,00	242,92	0,01	56,68
2,42	0,00	313,27	0,00	127,53	0,00	155,79	0,01	343,92	0,00	305,71	0,01	154,79
2,50	0,00	31,35	0,00	196,62	0,00	196,93	0,01	4,34	0,00	71,77	0,01	215,22
2,58	0,00	93,04	0,00	283,92	0,00	274,01	0,01	24,72	0,01	109,49	0,01	261,37
2,67	0,00	147,86	0,01	344,82	0,00	9,67	0,01	233,53	0,01	146,60	0,01	313,61
2,76	0,00	209,53	0,01	26,96	0,00	56,39	0,03	246,60	0,00	216,57	0,01	63,61
2,86	0,00	279,09	0,01	73,55	0,00	98,54	0,04	264,36	0,01	317,06	0,02	121,04
2,96	0,01	338,07	0,00	167,08	0,00	155,12	0,03	288,70	0,01	3,16	0,03	153,44
3,08	0,01	25,07	0,01	236,84	0,00	236,81	0,01	340,81	0,02	39,20	0,02	182,40
3,20	0,01	68,00	0,02	270,87	0,01	294,36	0,03	113,36	0,02	77,61	0,01	236,49
3,33	0,01	118,33	0,02	298,28	0,01	329,80	0,06	144,05	0,01	150,58	0,02	13,02
3,48	0,01	175,38	0,01	328,84	0,01	7,40	0,09	167,30	0,03	215,48	0,05	42,09
3,64	0,01	228,33	0,00	73,08	0,01	55,80	0,10	192,07	0,04	252,50	0,07	61,78
3,81	0,02	268,29	0,02	147,90	0,01	118,68	0,08	225,15	0,06	280,47	0,07	78,12
4,00	0,02	301,90	0,04	168,69	0,02	164,27	0,06	293,44	0,06	310,25	0,05	90,45
4,21	0,02	331,88	0,05	182,90	0,03	194,02	0,13	5,86	0,06	356,19	0,00	2,17
4,44	0,02	1,15	0,05	194,95	0,04	220,07	0,27	33,66	0,08	57,64	0,07	295,55
4,71	0,02	28,75	0,04	204,19	0,05	250,01	0,43	50,71	0,17	97,31	0,16	307,25
5,00	0,02	50,49	0,02	198,66	0,05	291,66	0,58	63,24	0,31	119,99	0,25	317,66
5,33	0,01	54,03	0,03	64,34	0,08	337,19	0,61	74,45	0,52	134,69	0,35	326,47
5,71	0,01	322,90	0,09	56,19	0,17	4,62	0,38	138,39	0,85	142,45	0,43	334,30
6,15	0,05	303,48	0,09	76,34	0,33	12,79	3,15	159,18	1,27	142,35	0,49	342,72
6,67	0,12	297,87	0,25	91,31	0,53	9,58	3,34	109,38	1,68	135,20	0,55	350,01
7,27	0,21	292,31	0,37	88,71	0,68	3,64	2,83	100,21	1,90	124,85	0,58	354,80
8,00	0,30	285,65	0,47	88,73	0,77	359,98	2,49	97,40	1,89	113,56	0,58	358,26
8,89	0,38	278,02	0,57	89,16	0,83	359,08	2,15	95,87	1,64	102,98	0,55	0,10
10,00	0,42	272,69	0,65	89,58	0,89	359,41	1,80	94,69	1,28	96,11	0,49	0,74
11,43	0,45	270,39	0,72	89,85	0,93	359,74	1,44	93,64	0,95	92,91	0,41	0,80
13,33	0,46	269,77	0,77	89,97	0,96	359,83	1,09	92,69	0,68	91,58	0,32	0,68
16,00	0,48	269,72	0,82	90,01	0,98	359,95	0,78	91,88	0,47	90,99	0,24	0,56
20,00	0,52	269,79	0,90	90,01	0,99	359,98	0,54	91,26	0,32	90,65	0,18	0,45
26,67	0,62	269,85	1,07	90,01	1,00	359,99	0,35	90,82	0,21	90,42	0,14	0,35
40,00	0,86	269,88	1,49	90,00	1,00	0,00	0,22	90,49	0,13	90,26	0,12	0,25

150	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	199,96	0,00	32,62	0,00	34,25	0,00	199,58	0,00	195,25	0,00	39,27
2,05	0,00	321,03	0,00	155,49	0,00	136,57	0,00	275,86	0,00	330,24	0,00	145,96
2,11	0,00	70,47	0,00	255,40	0,00	261,51	0,01	68,85	0,00	70,62	0,00	282,76
2,16	0,00	182,95	0,00	25,63	0,00	5,76	0,00	125,20	0,00	190,41	0,00	3,10
2,22	0,00	287,63	0,00	112,20	0,00	116,64	0,01	275,42	0,00	291,12	0,00	142,47
2,29	0,00	32,15	0,00	237,36	0,00	218,45	0,00	332,69	0,01	38,15	0,00	217,30
2,35	0,00	131,20	0,00	319,76	0,00	319,04	0,01	118,41	0,00	135,11	0,00	345,31
2,42	0,00	229,36	0,00	74,40	0,00	54,13	0,01	167,19	0,01	235,52	0,00	57,57
2,50	0,00	321,15	0,00	151,77	0,00	152,46	0,01	318,26	0,01	321,18	0,00	176,27
2,58	0,00	55,85	0,00	257,37	0,00	233,71	0,01	356,55	0,01	64,27	0,01	245,71
2,67	0,01	138,43	0,00	334,54	0,00	336,03	0,01	147,72	0,01	134,33	0,00	350,56
2,76	0,01	230,58	0,00	60,48	0,00	43,75	0,02	188,11	0,01	240,56	0,01	70,83
2,86	0,01	305,64	0,00	153,60	0,00	143,53	0,01	288,88	0,02	303,63	0,01	135,60
2,96	0,01	28,92	0,00	208,57	0,01	210,85	0,03	20,35	0,01	32,33	0,01	253,03
3,08	0,01	105,69	0,00	316,64	0,01	285,00	0,03	45,43	0,02	109,53	0,01	292,07
3,20	0,01	172,48	0,01	11,78	0,01	9,46	0,02	200,44	0,03	168,39	0,01	21,29
3,33	0,01	250,08	0,01	52,36	0,01	67,23	0,07	227,60	0,03	253,12	0,02	109,09
3,48	0,01	317,92	0,01	174,33	0,01	135,67	0,05	254,59	0,04	318,61	0,02	128,77
3,64	0,02	13,57	0,01	207,57	0,01	212,73	0,05	29,44	0,05	8,20	0,00	234,68
3,81	0,02	84,09	0,01	227,79	0,02	261,54	0,12	63,30	0,05	85,75	0,03	312,74
4,00	0,02	146,90	0,01	11,92	0,02	318,85	0,12	86,40	0,08	144,54	0,05	322,61
4,21	0,03	192,20	0,02	42,69	0,03	27,65	0,06	144,94	0,09	184,86	0,02	324,57
4,44	0,03	241,20	0,03	48,41	0,04	70,86	0,15	243,65	0,09	244,84	0,04	159,67
4,71	0,03	298,76	0,01	36,64	0,05	113,35	0,30	262,53	0,15	303,43	0,09	160,59
5,00	0,04	348,25	0,02	260,91	0,06	167,44	0,31	271,79	0,23	338,11	0,11	160,67
5,33	0,05	24,02	0,05	246,99	0,10	209,34	0,08	339,30	0,27	10,26	0,06	154,33
5,71	0,05	49,85	0,06	228,81	0,14	234,82	0,88	60,17	0,31	55,35	0,05	11,83
6,15	0,05	60,81	0,02	82,90	0,17	256,06	2,67	4,60	0,54	99,96	0,19	353,60
6,67	0,03	358,66	0,02	359,06	0,18	286,53	1,03	302,90	1,04	117,69	0,30	353,87
7,27	0,11	298,67	0,06	83,44	0,25	319,26	0,04	232,33	1,64	119,24	0,39	356,44
8,00	0,27	287,96	0,14	89,20	0,37	338,54	0,49	107,54	2,10	113,10	0,45	358,57
8,89	0,45	279,26	0,23	89,75	0,51	349,82	0,72	102,24	2,17	104,07	0,47	359,97
10,00	0,59	273,31	0,30	89,89	0,66	356,24	0,77	99,03	1,89	97,30	0,45	0,54
11,43	0,68	270,70	0,37	90,00	0,79	358,89	0,71	96,66	1,50	93,84	0,39	0,61
13,33	0,75	269,92	0,42	90,04	0,88	359,63	0,58	94,78	1,12	92,25	0,31	0,52
16,00	0,81	269,82	0,46	90,05	0,94	359,90	0,43	93,29	0,80	91,45	0,24	0,41
20,00	0,90	269,86	0,51	90,03	0,97	359,97	0,30	92,19	0,54	90,96	0,18	0,32
26,67	1,07	269,90	0,62	90,02	0,99	359,99	0,20	91,42	0,36	90,62	0,14	0,24
40,00	1,49	269,92	0,86	90,01	1,00	0,00	0,12	90,85	0,22	90,38	0,12	0,17

180	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(m/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)	(deg/m)	(deg)
2,00	0,00	307,10	0,00	0,00	0,00	120,32	0,00	0,00	0,00	297,70	0,00	0,00
2,05	0,00	74,61	0,00	0,00	0,00	248,24	0,00	0,00	0,00	64,77	0,00	0,00
2,11	0,00	201,73	0,00	0,00	0,00	11,52	0,00	0,00	0,00	191,49	0,00	0,00
2,16	0,00	324,50	0,00	0,00	0,00	134,45	0,00	0,00	0,01	311,77	0,00	0,00
2,22	0,00	81,87	0,00	0,00	0,00	254,29	0,00	0,00	0,01	67,92	0,00	0,00
2,29	0,00	199,75	0,00	0,00	0,00	6,94	0,00	0,00	0,01	186,18	0,00	0,00
2,35	0,00	311,59	0,00	0,00	0,00	119,11	0,00	0,00	0,01	295,83	0,00	0,00
2,42	0,00	58,71	0,00	0,00	0,00	229,84	0,00	0,00	0,01	41,69	0,00	0,00
2,50	0,00	167,30	0,00	0,00	0,00	328,93	0,00	0,00	0,01	152,11	0,00	0,00
2,58	0,00	265,94	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	0,00	0,01	244,78	0,00	0,00
2,67	0,00	9,33	0,00	0,00	0,00	167,75	0,00	0,00	0,01	353,31	0,00	0,00
2,76	0,01	102,12	0,00	0,00	0,00	273,10	0,00	0,00	0,01	77,19	0,00	0,00
2,86	0,01	199,29	0,00	0,00	0,00	355,25	0,00	0,00	0,02	181,87	0,00	0,00
2,96	0,01	285,15	0,00	0,00	0,01	96,98	0,00	0,00	0,02	257,83	0,00	0,00
3,08	0,01	16,31	0,00	0,00	0,01	171,25	0,00	0,00	0,02	358,29	0,00	0,00
3,20	0,01	92,96	0,00	0,00	0,01	267,97	0,00	0,00	0,03	67,49	0,00	0,00
3,33	0,01	177,76	0,00	0,00	0,01	336,18	0,00	0,00	0,03	158,93	0,00	0,00
3,48	0,02	246,51	0,00	0,00	0,01	60,37	0,00	16,04	0,04	226,72	0,00	0,00
3,64	0,02	318,96	0,00	0,00	0,02	129,33	0,00	309,81	0,04	298,38	0,00	0,00
3,81	0,02	27,62	0,00	0,00	0,02	192,52	0,00	224,84	0,06	12,67	0,00	0,00
4,00	0,03	84,52	0,00	0,00	0,02	264,70	0,00	190,32	0,08	66,63	0,00	0,00
4,21	0,03	147,31	0,00	0,00	0,03	318,02	0,00	113,10	0,09	134,20	0,00	0,00
4,44	0,03	205,12	0,00	0,00	0,04	14,55	0,00	39,88	0,13	191,56	0,00	0,00
4,71	0,04	252,26	0,00	0,00	0,05	72,04	0,00	10,31	0,15	237,73	0,00	0,00
5,00	0,04	298,42	0,00	0,00	0,07	115,46	0,00	334,00	0,18	293,79	0,00	0,00
5,33	0,04	349,36	0,00	0,00	0,09	158,43	0,00	252,30	0,28	343,02	0,00	0,00
5,71	0,05	37,31	0,00	0,00	0,12	203,72	0,00	187,65	0,40	15,40	0,00	0,00
6,15	0,06	71,65	0,00	0,00	0,18	233,27	0,00	100,37	0,48	46,86	0,00	0,00
6,67	0,05	84,95	0,00	0,00	0,22	252,12	0,00	17,13	0,65	89,57	0,00	0,00
7,27	0,03	318,45	0,00	0,00	0,21	279,35	0,00	348,66	1,21	112,29	0,00	0,00
8,00	0,19	289,62	0,00	0,00	0,26	316,39	0,00	348,60	1,87	112,30	0,00	0,00
8,89	0,41	279,85	0,00	0,00	0,38	341,90	0,00	347,59	2,17	104,54	0,00	0,00
10,00	0,60	273,53	0,00	0,00	0,56	354,04	0,00	0,00	2,02	97,84	0,00	0,00
11,43	0,74	270,77	0,00	0,00	0,72	358,37	0,00	0,00	1,66	94,24	0,00	0,00
13,33	0,84	269,95	0,00	0,00	0,85	359,52	0,00	0,00	1,27	92,53	0,00	0,00
16,00	0,92	269,84	0,00	0,00	0,92	359,88	0,00	0,00	0,91	91,64	0,00	0,00
20,00	1,03	269,87	0,00	0,00	0,96	359,96	0,00	0,00	0,62	91,08	0,00	0,00
26,67	1,23	269,91	0,00	0,00	0,98	359,99	0,00	0,00	0,41	90,70	0,00	0,00
40,00	1,72	269,93	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,25	90,43	0,00	0,00

## 8.1.4 Froud-Krylov + Difração

0	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Período	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	282,00	252,20	0,50	269,40	1010,00	251,86	4,07	97,62	37800,00	251,94	16,00	156,41
2,05	285,00	21,26	0,58	101,55	1040,00	21,56	2,90	105,82	38700,00	21,53	18,90	213,09
2,11	297,00	147,15	0,62	113,88	1070,00	147,70	3,40	303,81	39900,00	147,74	12,50	12,14
2,16	304,00	270,56	0,32	296,46	1120,00	270,36	2,44	114,28	41000,00	270,55	16,20	16,96
2,22	314,00	28,87	0,58	299,94	1150,00	30,30	3,42	174,75	42500,00	29,40	12,10	201,76
2,29	326,00	145,44	0,37	134,86	1190,00	145,47	4,00	325,58	44100,00	145,82	16,10	238,84
2,35	336,00	257,39	0,40	173,68	1250,00	258,31	2,12	34,42	45300,00	257,98	15,80	30,45
2,42	346,00	6,96	0,52	316,71	1280,00	7,13	4,54	146,69	47100,00	7,01	10,80	107,51
2,50	358,00	111,56	0,29	0,85	1330,00	112,98	2,87	228,29	48600,00	112,69	15,20	202,77
2,58	365,00	216,00	0,34	106,62	1370,00	214,96	3,04	300,82	49900,00	215,61	5,86	284,21
2,67	378,00	312,68	0,03	33,24	1410,00	315,17	1,79	43,78	51500,00	314,09	11,50	38,99
2,76	386,00	51,79	0,36	315,26	1450,00	49,90	2,35	94,56	53200,00	51,27	0,44	53,46
2,86	401,00	141,70	0,15	34,13	1510,00	144,20	1,78	86,93	54600,00	142,83	12,80	234,53
2,96	403,00	233,64	0,32	154,92	1550,00	232,28	2,50	248,45	56500,00	233,60	5,77	304,42
3,08	426,00	319,25	0,39	189,85	1590,00	319,81	1,16	296,39	58200,00	318,82	11,40	61,80
3,20	427,00	41,28	0,07	30,37	1650,00	42,15	3,40	56,65	59500,00	42,63	14,60	116,49
3,33	438,00	124,74	0,47	41,87	1680,00	122,28	3,86	98,09	62000,00	122,33	5,36	179,53
3,48	477,00	198,34	0,26	51,69	1750,00	199,71	3,86	168,92	63100,00	198,66	18,10	305,49
3,64	448,00	272,50	0,35	208,24	1800,00	272,04	3,40	225,88	65700,00	273,06	15,40	320,67
3,81	503,00	347,09	0,48	218,55	1850,00	343,51	4,04	288,92	68000,00	341,91	6,91	63,94
4,00	540,00	47,59	0,25	260,18	1930,00	49,40	2,93	332,59	69100,00	49,50	13,80	127,03
4,21	484,00	112,03	0,16	5,63	1950,00	112,88	2,70	54,85	71800,00	112,99	12,60	167,67
4,44	553,00	180,21	0,29	64,02	1970,00	174,37	3,47	105,67	72700,00	172,80	8,56	225,65
4,71	629,00	229,18	0,28	95,97	2020,00	232,07	3,29	145,26	72000,00	230,64	9,00	303,62
5,00	548,00	277,57	0,19	144,17	1990,00	286,18	2,46	193,14	72000,00	287,72	11,60	345,56
5,33	515,00	340,77	0,19	214,39	1890,00	340,87	2,32	256,69	75200,00	341,53	10,40	19,78
5,71	662,00	31,94	0,24	251,69	1920,00	37,46	2,90	303,18	76800,00	29,86	8,00	60,70
6,15	745,00	65,24	0,24	275,07	2150,00	87,21	3,10	332,59	72000,00	79,09	6,73	108,29
6,67	639,00	96,06	0,18	297,12	2210,00	129,19	2,73	0,30	75500,00	137,48	6,59	146,52
7,27	464,00	144,84	0,12	323,56	1930,00	177,08	2,25	31,86	109000,00	186,23	5,77	173,96
8,00	577,00	205,70	0,08	0,14	2210,00	244,48	1,92	62,83	156000,00	216,16	4,31	198,86
8,89	881,00	236,55	0,06	34,11	4130,00	290,44	1,72	97,36	197000,00	236,82	2,92	229,32
10,00	1130,00	252,20	0,05	57,07	6890,00	313,03	1,87	129,99	226000,00	252,19	2,13	262,35
11,43	1240,00	261,12	0,03	76,31	9760,00	327,58	1,75	141,26	238000,00	263,06	1,63	291,84
13,33	1190,00	265,80	0,02	92,38	12600,00	338,89	1,44	150,09	226000,00	270,18	1,20	316,13
16,00	1010,00	267,75	0,01	103,94	15400,00	347,95	1,37	163,42	192000,00	275,17	0,85	337,82
20,00	772,00	268,36	0,00	136,72	18200,00	354,03	1,11	170,71	149000,00	280,08	0,56	355,11
26,67	545,00	268,67	0,00	169,63	20700,00	357,31	1,08	176,39	109000,00	286,75	0,33	10,40
40,00	347,00	269,04	0,00	335,32	22500,00	358,89	0,83	178,58	74900,00	297,55	0,16	29,19

30	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	14,20	3,58	17,80	112,17	44,80	358,94	1180,00	135,39	2110,00	5,73	996,00	311,95
2,05	16,40	133,30	9,04	121,20	95,00	135,46	1180,00	257,03	2820,00	134,97	703,00	19,98
2,11	38,10	253,76	23,60	228,33	115,00	257,72	1050,00	7,33	4760,00	253,39	630,00	42,95
2,16	43,50	10,88	39,90	309,27	166,00	7,33	862,00	132,33	5680,00	9,10	1200,00	145,61
2,22	57,90	116,11	45,80	54,55	181,00	117,08	555,00	248,59	7100,00	115,28	1940,00	230,34
2,29	63,70	219,31	61,50	151,60	207,00	221,29	545,00	53,72	7540,00	220,94	2180,00	326,08
2,35	63,00	323,50	60,80	238,58	206,00	322,15	806,00	185,21	7730,00	322,63	2860,00	64,11
2,42	69,80	58,43	64,10	342,43	185,00	64,72	1460,00	301,64	7460,00	62,05	3150,00	145,84
2,50	46,00	158,25	75,60	56,82	170,00	162,29	2100,00	35,67	5740,00	163,68	3070,00	242,95
2,58	54,90	260,67	52,60	143,78	99,20	275,25	2660,00	133,77	5120,00	266,80	4060,00	322,71
2,67	19,70	354,07	75,20	231,13	107,00	34,95	3540,00	221,51	2940,00	36,44	3400,00	35,97
2,76	36,60	147,42	70,60	284,30	120,00	175,25	3920,00	305,74	4900,00	160,07	3810,00	128,22
2,86	38,90	256,32	52,10	4,43	236,00	269,83	4540,00	32,62	7060,00	269,81	4650,00	193,35
2,96	71,90	0,40	73,40	86,81	320,00	357,55	5270,00	109,06	11800,00	358,10	4130,00	256,70
3,08	118,00	80,84	105,00	137,04	450,00	80,15	5280,00	185,73	15900,00	78,35	3760,00	344,10
3,20	147,00	145,87	74,60	183,75	597,00	156,34	5810,00	263,00	20300,00	155,04	6140,00	50,93
3,33	156,00	235,20	86,20	300,08	714,00	225,95	6240,00	331,02	25900,00	229,99	6300,00	93,69
3,48	266,00	300,10	171,00	345,75	844,00	299,98	6110,00	37,64	31500,00	295,24	3910,00	167,70
3,64	275,00	351,49	162,00	17,71	1050,00	2,72	5960,00	105,16	35000,00	4,64	7210,00	255,54
3,81	244,00	64,34	67,70	103,66	1120,00	65,61	6200,00	168,91	43200,00	66,93	10800,00	291,68
4,00	368,00	136,15	210,00	194,95	1300,00	128,04	6150,00	224,50	47300,00	124,39	8650,00	321,45
4,21	477,00	176,27	331,00	219,07	1470,00	183,80	5240,00	280,04	50700,00	182,69	3870,00	54,80
4,44	392,00	218,17	266,00	237,19	1560,00	236,13	4800,00	343,67	56100,00	238,91	12200,00	129,69
4,71	340,00	291,25	49,00	329,09	1580,00	289,53	5150,00	35,17	62700,00	290,50	19200,00	148,94
5,00	527,00	346,67	344,00	60,17	1680,00	343,67	4320,00	75,55	67500,00	337,11	18000,00	161,21
5,33	659,00	18,46	604,00	71,21	1910,00	32,63	2680,00	136,57	66600,00	22,47	8090,00	178,77
5,71	626,00	46,93	637,00	77,47	2090,00	74,22	3690,00	209,08	64100,00	73,65	8010,00	335,66
6,15	477,00	83,33	412,00	82,19	2000,00	113,96	4730,00	235,67	75500,00	128,19	24300,00	350,92
6,67	393,00	142,20	12,00	355,65	1730,00	163,96	3420,00	248,60	106000,00	170,27	36500,00	356,10
7,27	564,00	195,13	489,00	271,61	2070,00	227,37	112,00	72,04	143000,00	199,05	42100,00	359,28
8,00	818,00	222,82	921,00	272,17	3540,00	272,37	4600,00	80,38	175000,00	220,97	41000,00	0,93
8,89	1020,00	240,24	1200,00	272,42	5750,00	298,13	8560,00	83,40	199000,00	239,13	34700,00	1,45
10,00	1140,00	252,53	1290,00	272,06	8220,00	315,10	11000,00	85,23	214000,00	253,67	25700,00	1,62
11,43	1160,00	260,75	1200,00	271,32	10700,00	328,26	11400,00	86,26	217000,00	264,24	17000,00	2,02
13,33	1070,00	265,39	1000,00	270,59	13100,00	339,23	10300,00	86,95	201000,00	271,33	9920,00	2,86
16,00	890,00	267,41	760,00	270,13	15700,00	348,16	8230,00	87,61	170000,00	276,52	5180,00	4,22
20,00	674,00	268,08	537,00	269,95	18300,00	354,18	6060,00	88,26	131000,00	281,89	2480,00	6,30
26,67	473,00	268,44	362,00	269,92	20700,00	357,40	4200,00	88,82	95800,00	289,32	1100,00	9,52
40,00	301,00	268,89	224,00	269,94	22500,00	358,94	2650,00	89,29	67300,00	301,13	426,00	15,29

60	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	19,20	239,14	44,40	196,46	76,90	252,40	557,00	68,72	1980,00	238,24	1100,00	19,92
2,05	20,10	344,84	3,33	183,01	67,90	331,31	678,00	155,17	2860,00	345,23	434,00	162,36
2,11	19,20	81,28	40,30	141,08	67,20	74,84	569,00	247,94	2690,00	66,52	1010,00	310,16
2,16	23,40	175,62	66,70	197,63	62,90	172,21	668,00	353,50	2530,00	169,49	1970,00	31,25
2,22	16,10	266,17	67,50	253,84	84,90	275,10	819,00	78,31	2690,00	264,70	2920,00	97,68
2,29	33,80	31,59	44,60	325,33	101,00	351,67	835,00	156,35	3400,00	4,76	3390,00	147,95
2,35	56,10	83,02	45,00	55,58	92,90	79,75	613,00	250,55	4730,00	79,31	2550,00	182,82
2,42	43,30	132,66	45,70	101,11	124,00	167,18	1010,00	359,00	4340,00	146,85	1010,00	182,27
2,50	22,80	234,93	33,10	85,55	134,00	233,75	1560,00	61,81	3530,00	238,50	1240,00	136,64
2,58	38,00	336,09	68,00	66,76	100,00	311,91	1550,00	121,93	4570,00	328,48	1210,00	168,86
2,67	51,70	44,25	104,00	90,38	119,00	59,19	1410,00	197,92	5410,00	38,99	911,00	297,78
2,76	59,10	108,29	101,00	122,28	204,00	128,04	1650,00	271,54	5460,00	118,64	3060,00	7,15
2,86	55,70	174,78	52,20	164,01	239,00	183,35	1740,00	334,89	7810,00	196,99	5080,00	45,51
2,96	61,20	258,13	38,50	330,01	236,00	246,88	1650,00	37,26	10500,00	251,86	5660,00	77,53
3,08	103,00	323,83	119,00	16,09	258,00	312,87	1390,00	109,84	10900,00	302,69	4060,00	103,30
3,20	139,00	2,64	159,00	48,82	290,00	11,47	1600,00	194,85	9030,00	359,73	913,00	71,85
3,33	134,00	34,89	137,00	79,27	267,00	63,94	2490,00	261,75	8160,00	74,41	4730,00	5,53
3,48	81,20	60,58	41,30	109,45	205,00	133,67	3600,00	311,78	9740,00	145,62	9620,00	26,27
3,64	24,40	280,84	132,00	314,61	246,00	222,30	4470,00	353,06	12700,00	207,34	13000,00	48,62
3,81	151,00	290,14	364,00	333,62	442,00	285,55	4820,00	33,75	15800,00	262,63	12500,00	68,69
4,00	262,00	306,73	570,00	351,41	687,00	330,36	4760,00	76,87	19800,00	314,89	6580,00	91,25
4,21	296,00	323,47	673,00	8,18	951,00	7,41	4920,00	125,34	24500,00	8,42	4690,00	258,65
4,44	249,00	345,56	623,00	25,08	1100,00	40,95	5810,00	168,80	35800,00	57,78	18300,00	286,57
4,71	147,00	21,66	412,00	44,54	1130,00	78,77	6640,00	201,29	53200,00	96,15	33100,00	303,93
5,00	116,00	116,66	86,60	108,06	1160,00	123,77	6450,00	227,85	75800,00	126,89	47700,00	317,97
5,33	275,00	171,66	473,00	231,75	1420,00	174,61	4760,00	254,47	102000,00	151,72	59600,00	330,07
5,71	493,00	195,66	1070,00	245,85	2160,00	217,38	2250,00	321,60	129000,00	171,90	67800,00	340,33
6,15	725,00	210,51	1680,00	255,37	3390,00	246,63	5530,00	46,63	151000,00	188,47	71200,00	348,48
6,67	921,00	220,13	2230,00	262,72	4930,00	267,08	11400,00	67,61	165000,00	202,42	69400,00	354,92
7,27	1020,00	227,17	2670,00	267,79	6610,00	282,95	17300,00	77,73	166000,00	215,82	63300,00	359,40
8,00	1020,00	234,32	2920,00	270,82	8300,00	296,09	22100,00	83,49	160000,00	230,49	53300,00	1,69
8,89	957,00	242,62	2940,00	272,16	9840,00	307,65	24900,00	86,67	154000,00	245,57	41000,00	2,55
10,00	873,00	251,26	2740,00	272,18	11200,00	318,79	25200,00	88,10	149000,00	258,81	28500,00	3,04
11,43	779,00	258,58	2340,00	271,50	12600,00	329,85	23100,00	88,53	141000,00	268,99	18000,00	3,86
13,33	666,00	263,34	1850,00	270,75	14300,00	340,12	19300,00	88,63	126000,00	276,47	10300,00	5,29
16,00	532,00	265,67	1360,00	270,25	16300,00	348,74	14800,00	88,79	104000,00	282,99	5300,00	7,55
20,00	395,00	266,60	943,00	270,03	18700,00	354,56	10700,00	89,05	81100,00	290,80	2530,00	11,00
26,67	275,00	267,25	630,00	269,97	20900,00	357,65	7330,00	89,34	62100,00	301,57	1140,00	16,31
40,00	174,00	268,05	389,00	269,97	22600,00	359,10	4610,00	89,59	48500,00	316,34	455,00	25,40

90	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	33,00	218,91	1460,00	291,17	159,00	273,51	3240,00	288,00	3520,00	252,14	5400,00	96,87
2,05	28,70	252,45	1530,00	329,16	194,00	335,21	3190,00	330,37	2930,00	290,96	5880,00	136,24
2,11	24,10	296,56	1580,00	7,10	284,00	15,31	3350,00	10,13	2770,00	339,76	6310,00	172,86
2,16	24,50	346,99	1650,00	44,96	358,00	47,20	3490,00	45,45	3140,00	23,73	6660,00	207,91
2,22	29,30	30,17	1740,00	81,40	409,00	78,90	3460,00	78,27	3520,00	59,40	6930,00	242,07
2,29	34,40	64,90	1840,00	116,05	439,00	112,87	3220,00	110,79	3580,00	92,10	7150,00	275,56
2,35	37,00	98,88	1930,00	149,57	484,00	150,23	2880,00	146,37	3360,00	130,47	7410,00	308,51
2,42	40,00	135,28	2000,00	182,78	576,00	186,75	2760,00	185,76	3530,00	175,33	7710,00	340,71
2,50	47,80	172,21	2100,00	215,54	711,00	219,13	2910,00	218,63	4540,00	215,94	8180,00	11,01
2,58	60,60	202,28	2220,00	246,68	840,00	246,20	2830,00	242,99	5890,00	244,67	8630,00	38,60
2,67	74,30	226,34	2340,00	276,30	909,00	273,05	2410,00	265,14	6950,00	267,69	8850,00	64,14
2,76	84,50	246,59	2450,00	304,83	972,00	304,77	1750,00	287,55	7330,00	289,91	8710,00	89,06
2,86	89,30	267,00	2550,00	332,83	1140,00	336,36	1070,00	312,60	7310,00	315,55	8450,00	114,62
2,96	92,70	288,86	2660,00	0,35	1360,00	4,67	607,00	338,42	7550,00	343,90	8130,00	141,12
3,08	93,70	311,16	2830,00	26,42	1600,00	30,40	500,00	300,15	8070,00	13,19	8190,00	167,71
3,20	99,20	335,80	3000,00	50,83	1860,00	54,63	1270,00	277,41	9350,00	38,89	8390,00	192,13
3,33	108,00	357,37	3150,00	73,86	2110,00	78,14	2440,00	285,27	10700,00	60,81	8590,00	213,55
3,48	120,00	16,76	3300,00	95,95	2400,00	101,92	3880,00	302,20	12000,00	77,77	8710,00	233,42
3,64	132,00	33,10	3440,00	116,98	2780,00	124,05	5700,00	319,49	12600,00	94,12	8590,00	250,44
3,81	143,00	45,72	3590,00	137,04	3170,00	144,86	7800,00	335,29	12800,00	107,98	8200,00	267,56
4,00	142,00	57,28	3730,00	155,98	3620,00	164,86	10100,00	351,35	12000,00	123,22	7810,00	283,67
4,21	141,00	70,17	3870,00	173,88	4140,00	183,89	12800,00	7,09	10900,00	140,08	7300,00	298,57
4,44	135,00	81,02	4010,00	190,46	4710,00	201,85	15900,00	21,15	9440,00	161,12	6630,00	312,16
4,71	122,00	93,24	4130,00	206,14	5370,00	218,71	19000,00	33,89	8580,00	188,62	5850,00	327,02
5,00	110,00	109,41	4290,00	220,38	6100,00	234,45	22200,00	46,00	8940,00	218,33	5360,00	340,87
5,33	107,00	126,93	4410,00	232,85	6930,00	248,88	25500,00	56,75	10600,00	243,67	4640,00	350,45
5,71	110,00	140,47	4500,00	244,00	7810,00	261,95	28600,00	66,21	12900,00	261,48	3640,00	3,70
6,15	109,00	150,41	4570,00	253,60	8710,00	274,02	31500,00	74,64	15100,00	274,72	3090,00	21,69
6,67	105,00	160,35	4590,00	261,17	9660,00	285,25	34100,00	81,58	17000,00	286,35	2740,00	34,19
7,27	104,00	169,90	4510,00	266,74	10700,00	295,32	36000,00	86,77	18900,00	296,63	2190,00	45,60
8,00	104,00	175,88	4320,00	270,38	11600,00	304,16	36700,00	90,23	20600,00	305,16	1760,00	64,08
8,89	101,00	177,03	3970,00	272,12	12300,00	312,55	35900,00	91,98	21600,00	312,82	1670,00	81,54
10,00	89,00	175,28	3480,00	272,33	12900,00	321,66	33200,00	92,25	22100,00	321,27	1620,00	89,26
11,43	71,30	173,41	2860,00	271,71	13600,00	331,62	28700,00	91,68	22800,00	331,08	1430,00	91,00
13,33	52,70	173,07	2200,00	270,94	14800,00	341,29	23200,00	90,93	24300,00	340,98	1130,00	90,79
16,00	36,30	174,57	1590,00	270,39	16600,00	349,53	17400,00	90,40	26800,00	349,42	822,00	90,34
20,00	23,40	176,88	1100,00	270,13	18800,00	355,09	12400,00	90,14	29900,00	355,06	563,00	90,09
26,67	13,40	178,63	730,00	270,04	21000,00	358,00	8500,00	90,05	33000,00	357,99	371,00	90,00
40,00	5,97	179,61	449,00	270,01	22600,00	359,30	5330,00	90,02	35300,00	359,30	226,00	89,99

120	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	94,90	328,61	168,00	136,82	134,00	168,64	645,00	348,39	1380,00	323,59	4340,00	158,13
2,05	113,00	60,76	135,00	226,28	115,00	219,77	602,00	10,97	3960,00	98,13	6070,00	228,46
2,11	135,00	131,54	176,00	316,97	82,60	343,60	125,00	330,08	5580,00	139,31	5070,00	295,93
2,16	123,00	205,79	206,00	24,01	184,00	54,21	776,00	256,68	3160,00	201,93	4350,00	34,46
2,22	130,00	290,25	170,00	93,39	200,00	104,81	1100,00	268,57	3950,00	325,41	6780,00	114,55
2,29	161,00	3,00	170,00	188,08	130,00	172,28	539,00	272,98	7470,00	23,98	7360,00	168,46
2,35	170,00	64,64	245,00	256,35	163,00	284,34	617,00	150,95	7810,00	65,66	4930,00	238,71
2,42	144,00	133,53	244,00	311,19	297,00	338,19	1380,00	162,77	3590,00	128,13	5930,00	337,68
2,50	159,00	215,51	185,00	19,85	281,00	16,59	1480,00	186,01	6680,00	253,72	8940,00	37,74
2,58	207,00	276,51	202,00	108,88	138,00	91,39	747,00	211,18	11400,00	292,35	9350,00	83,74
2,67	209,00	329,20	306,00	170,33	258,00	193,29	636,00	47,82	10100,00	329,69	6110,00	136,13
2,76	180,00	30,87	340,00	212,12	399,00	238,30	2080,00	66,77	5670,00	38,50	5340,00	247,80
2,86	187,00	103,96	237,00	258,14	405,00	278,59	2570,00	86,10	8690,00	139,83	11300,00	304,59
2,96	247,00	163,62	159,00	354,37	302,00	333,40	2030,00	111,53	15100,00	186,94	14100,00	336,91
3,08	294,00	209,52	336,00	65,10	296,00	59,00	704,00	162,95	18000,00	223,45	11300,00	5,88
3,20	286,00	251,22	478,00	99,04	529,00	118,08	1440,00	295,64	15000,00	261,77	3810,00	59,85
3,33	239,00	303,28	472,00	126,59	693,00	152,74	2960,00	328,02	11700,00	334,23	8660,00	198,28
3,48	239,00	5,53	291,00	157,24	673,00	189,55	3740,00	351,75	18600,00	41,52	18700,00	227,15
3,64	309,00	59,49	116,00	271,27	560,00	237,55	3560,00	15,97	28100,00	80,27	24700,00	246,96
3,81	393,00	97,49	447,00	341,14	600,00	304,11	2530,00	45,70	33700,00	109,52	24200,00	263,50
4,00	425,00	129,62	788,00	1,94	926,00	352,99	1190,00	113,14	31600,00	140,41	15800,00	275,81
4,21	397,00	160,95	961,00	17,20	1230,00	24,39	2530,00	202,85	25300,00	186,69	610,00	208,10
4,44	332,00	198,42	909,00	31,17	1340,00	52,18	4650,00	229,30	29000,00	250,60	18500,00	122,67
4,71	291,00	246,95	636,00	44,69	1240,00	83,83	5970,00	245,49	47800,00	295,17	37100,00	134,30
5,00	328,00	298,83	177,00	61,35	1070,00	128,60	5880,00	257,70	72300,00	323,06	54200,00	144,60
5,33	451,00	339,66	433,00	241,90	1230,00	186,00	3860,00	267,43	98400,00	344,34	66500,00	153,30
5,71	622,00	7,74	1110,00	251,18	1990,00	231,09	359,00	39,77	124000,00	1,37	73100,00	161,37
6,15	806,00	27,49	1760,00	258,30	3250,00	258,92	5780,00	90,55	147000,00	14,71	74600,00	168,36
6,67	965,00	40,93	2320,00	264,47	4820,00	277,51	11900,00	95,46	159000,00	25,27	71200,00	173,77
7,27	1040,00	50,49	2740,00	269,06	6530,00	291,55	17900,00	98,06	159000,00	35,12	63800,00	177,40
8,00	1010,00	59,65	2970,00	271,77	8240,00	303,00	22600,00	98,86	151000,00	46,14	53200,00	179,07
8,89	942,00	69,82	2970,00	272,85	9790,00	313,11	25300,00	98,27	142000,00	57,93	40800,00	179,04
10,00	868,00	79,63	2750,00	272,72	11200,00	323,03	25400,00	96,77	134000,00	68,23	28500,00	178,03
11,43	785,00	87,05	2340,00	271,97	12600,00	333,06	23200,00	94,93	126000,00	74,88	18000,00	176,61
13,33	675,00	91,31	1850,00	271,13	14200,00	342,43	19300,00	93,25	113000,00	76,89	10300,00	174,86
16,00	538,00	92,97	1360,00	270,54	16300,00	350,34	14800,00	92,00	95600,00	74,31	5300,00	172,49
20,00	397,00	93,17	943,00	270,24	18700,00	355,62	10700,00	91,22	76400,00	67,62	2530,00	169,01
26,67	276,00	92,74	630,00	270,11	20900,00	358,34	7330,00	90,76	60200,00	57,26	1140,00	163,70
40,00	174,00	91,96	389,00	270,05	22600,00	359,51	4610,00	90,45	47900,00	42,91	455,00	154,61

150	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	123,00	20,27	66,70	214,24	157,00	215,52	489,00	20,28	5430,00	16,62	1280,00	220,50
2,05	135,00	142,71	52,20	335,87	158,00	316,10	739,00	98,06	6460,00	151,61	2190,00	326,81
2,11	137,00	251,29	75,00	77,06	213,00	82,75	777,00	249,57	5860,00	252,34	1700,00	104,31
2,16	162,00	4,77	66,30	207,43	186,00	186,06	642,00	308,45	8500,00	12,38	2230,00	184,00
2,22	160,00	108,91	78,80	293,67	279,00	298,05	1040,00	96,67	7110,00	113,22	2380,00	324,06
2,29	194,00	214,18	85,80	60,18	231,00	39,20	583,00	156,70	11000,00	220,65	2400,00	38,49
2,35	187,00	312,79	92,60	141,79	355,00	140,52	1190,00	299,82	8820,00	317,58	2990,00	167,17
2,42	226,00	51,78	103,00	258,03	290,00	234,60	679,00	351,10	13600,00	58,37	3020,00	239,12
2,50	217,00	142,69	117,00	334,86	434,00	334,00	1340,00	139,42	11100,00	143,92	3320,00	358,59
2,58	257,00	239,00	112,00	81,70	370,00	53,27	1050,00	179,39	16100,00	247,39	3950,00	67,66
2,67	257,00	319,93	148,00	158,98	497,00	157,77	1210,00	328,59	15000,00	317,39	3190,00	173,46
2,76	278,00	54,36	118,00	245,17	517,00	223,36	1740,00	10,00	17000,00	64,11	5080,00	253,34
2,86	316,00	128,10	172,00	339,89	498,00	325,15	628,00	110,71	21200,00	127,39	3780,00	318,46
2,96	289,00	212,22	176,00	34,40	699,00	31,76	2160,00	201,98	16600,00	216,36	5260,00	76,44
3,08	360,00	289,99	141,00	145,33	550,00	105,00	1770,00	227,67	25000,00	294,39	7310,00	115,31
3,20	354,00	355,58	274,00	199,85	715,00	191,93	1250,00	22,67	23500,00	353,50	2500,00	205,74
3,33	339,00	75,00	173,00	241,09	830,00	249,12	3060,00	50,39	21700,00	79,20	9110,00	293,33
3,48	433,00	143,44	201,00	5,97	674,00	317,33	1850,00	76,35	31200,00	145,92	9380,00	313,01
3,64	428,00	198,08	366,00	38,69	871,00	37,75	1570,00	215,12	29700,00	196,19	1500,00	59,43
3,81	386,00	270,99	239,00	60,91	1070,00	86,65	3510,00	248,52	25900,00	275,07	11600,00	138,03
4,00	520,00	334,53	142,00	207,88	866,00	144,07	3180,00	269,56	38900,00	336,15	14600,00	147,93
4,21	574,00	18,59	437,00	236,75	1030,00	217,46	1050,00	322,95	39800,00	18,08	5910,00	149,18
4,44	495,00	70,60	466,00	245,21	1320,00	263,29	2580,00	78,44	33200,00	79,68	9530,00	346,73
4,71	536,00	132,65	161,00	243,99	1220,00	307,97	4100,00	93,24	44000,00	142,42	21800,00	347,14
5,00	687,00	178,97	306,00	82,12	1180,00	8,41	3010,00	97,72	54800,00	182,04	23200,00	346,86
5,33	766,00	213,46	673,00	82,17	1530,00	61,01	256,00	337,58	52300,00	219,86	12100,00	340,19
5,71	722,00	246,96	755,00	82,23	1840,00	98,48	3450,00	286,71	46000,00	272,54	7320,00	199,93
6,15	628,00	286,10	506,00	79,87	1810,00	133,65	4810,00	283,25	60200,00	332,01	25400,00	183,72
6,67	604,00	333,29	83,20	24,27	1570,00	181,20	3410,00	276,99	95700,00	9,45	38600,00	181,82
7,27	744,00	14,89	495,00	279,54	1940,00	243,83	756,00	169,35	135000,00	32,25	43800,00	181,26
8,00	942,00	42,04	939,00	275,76	3470,00	285,53	4950,00	110,92	167000,00	49,10	41800,00	180,96
8,89	1090,00	60,81	1220,00	274,44	5700,00	308,13	8860,00	104,49	189000,00	62,84	34900,00	180,39
10,00	1180,00	74,62	1300,00	273,36	8180,00	322,67	11100,00	100,57	202000,00	73,43	25800,00	179,48
11,43	1180,00	83,95	1210,00	272,27	10600,00	333,88	11500,00	97,46	204000,00	80,19	17000,00	178,44
13,33	1080,00	89,12	1000,00	271,31	13100,00	343,26	10300,00	94,99	190000,00	82,80	9940,00	177,28
16,00	897,00	91,23	760,00	270,65	15700,00	350,93	8230,00	93,20	161000,00	81,66	5190,00	175,81
20,00	676,00	91,71	537,00	270,31	18300,00	356,01	6060,00	92,02	126000,00	77,41	2480,00	173,71
26,67	474,00	91,55	362,00	270,16	20700,00	358,59	4200,00	91,29	93700,00	70,19	1100,00	170,48
40,00	301,00	91,12	224,00	270,09	22500,00	359,66	2650,00	90,78	66600,00	58,49	426,00	164,72

180	Surge		Sway		Heave		Roll		Pitch		Yaw	
Periodo	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase	Amp.	Fase
(s)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)	(kN*m/m)	(deg)
2,00	136,00	127,24	0,40	130,49	309,00	300,49	2,05	249,78	11000,00	119,20	23,90	238,31
2,05	142,00	254,82	0,46	290,07	311,00	68,60	3,98	242,80	11800,00	246,57	12,00	122,65
2,11	149,00	22,13	0,72	216,62	327,00	191,87	2,07	90,71	12200,00	13,66	16,90	32,30
2,16	150,00	144,72	0,24	85,58	352,00	315,15	0,40	211,22	12200,00	134,23	23,30	292,49
2,22	161,00	262,01	0,72	29,46	361,00	75,27	3,68	197,37	13400,00	250,61	5,74	117,52
2,29	174,00	20,22	0,31	144,13	379,00	187,63	1,75	42,58	14300,00	9,20	21,00	100,21
2,35	176,00	131,93	0,63	179,44	429,00	300,06	3,38	333,08	14100,00	119,01	9,54	259,88
2,42	197,00	238,92	0,31	324,12	425,00	50,81	3,25	202,04	16400,00	224,98	16,30	263,13
2,50	204,00	348,19	0,57	356,33	472,00	149,21	4,53	125,86	16200,00	335,67	5,22	46,08
2,58	214,00	85,88	0,17	58,73	494,00	258,98	2,39	33,64	17500,00	68,26	10,60	89,43
2,67	235,00	190,55	0,11	173,53	500,00	347,40	2,97	304,32	18600,00	177,26	4,19	190,78
2,76	235,00	281,99	0,24	281,35	560,00	94,07	1,97	248,77	18700,00	261,11	8,04	251,35
2,86	274,00	20,84	0,20	10,16	540,00	174,70	1,42	209,42	21000,00	6,50	3,69	94,42
2,96	274,00	105,20	0,07	251,09	621,00	278,28	1,09	310,12	20800,00	82,51	9,20	77,41
3,08	325,00	198,37	0,25	216,73	624,00	351,12	0,85	42,67	22900,00	183,94	1,19	134,83
3,20	345,00	273,78	0,18	221,72	676,00	89,96	1,10	62,45	25200,00	253,38	7,18	242,12
3,33	380,00	0,34	0,21	305,12	793,00	157,62	1,84	212,46	24500,00	345,97	5,87	257,69
3,48	455,00	68,95	0,19	299,08	738,00	243,10	3,75	196,78	31800,00	54,49	3,97	45,35
3,64	444,00	141,84	0,06	133,49	998,00	313,44	2,00	135,98	28000,00	127,15	9,49	37,44
3,81	552,00	211,96	0,24	129,79	939,00	16,68	3,41	45,11	36200,00	203,08	2,49	348,00
4,00	588,00	268,53	0,18	119,61	1070,00	91,95	3,45	13,79	38400,00	258,38	6,23	202,36
4,21	579,00	333,08	0,05	240,45	1260,00	146,91	1,79	301,87	36500,00	327,83	7,12	187,82
4,44	692,00	31,65	0,14	263,74	1180,00	205,62	3,13	221,28	45500,00	28,04	2,02	180,12
4,71	737,00	78,80	0,12	270,50	1330,00	268,33	3,53	195,63	46000,00	77,21	3,90	340,16
5,00	690,00	128,80	0,03	309,98	1480,00	317,38	2,10	170,58	43600,00	137,18	6,04	332,80
5,33	725,00	182,90	0,08	34,69	1390,00	7,64	1,00	86,26	53200,00	193,19	5,48	323,61
5,71	843,00	226,24	0,11	36,81	1460,00	66,39	2,12	28,16	60300,00	234,88	3,10	296,49
6,15	879,00	260,11	0,10	34,34	1840,00	114,21	2,71	8,39	55500,00	278,91	1,45	215,94
6,67	775,00	293,52	0,07	18,48	2020,00	151,20	2,42	352,09	59600,00	339,91	2,11	161,45
7,27	654,00	338,25	0,05	349,13	1800,00	194,98	1,70	331,53	98100,00	25,28	2,40	142,70
8,00	758,00	25,59	0,03	311,98	2120,00	260,09	1,05	292,97	147000,00	48,80	2,10	125,66
8,89	994,00	55,04	0,03	288,34	4080,00	302,36	1,02	235,08	189000,00	63,97	1,65	99,54
10,00	1190,00	72,51	0,02	274,58	6850,00	321,89	1,40	202,02	216000,00	74,69	1,30	69,22
11,43	1270,00	83,05	0,02	264,70	9740,00	334,11	1,37	191,59	226000,00	81,39	1,12	40,05
13,33	1200,00	88,62	0,01	255,82	12500,00	343,56	1,26	183,82	215000,00	84,04	0,98	19,16
16,00	1020,00	90,89	0,01	249,02	15400,00	351,15	1,33	180,62	184000,00	83,13	0,79	5,73
20,00	774,00	91,43	0,00	217,72	18200,00	356,16	1,11	179,75	144000,00	79,34	0,56	356,12
26,67	546,00	91,33	0,00	191,00	20700,00	358,69	1,09	179,69	106000,00	72,88	0,33	346,03
40,00	347,00	90,97	0,00	24,92	22500,00	359,72	0,82	179,80	74100,00	62,15	0,17	330,36

## 8.1.5 QTF

0	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
(s)						
2,00	1,27E+02	-1,15E-02	3,35E+02	-5,32E-01	1,49E+04	1,09E+00
2,05	1,26E+02	1,41E-02	3,33E+02	-5,79E-01	1,48E+04	-4,40E-02
2,11	1,25E+02	1,59E-02	3,30E+02	-8,03E-01	1,47E+04	-1,63E-01
2,16	1,23E+02	2,27E-02	3,28E+02	-7,50E-01	1,47E+04	1,24E-01
2,22	1,23E+02	3,17E-02	3,26E+02	-8,05E-01	1,46E+04	-1,71E-01
2,29	1,22E+02	3,19E-02	3,25E+02	-9,11E-01	1,46E+04	2,18E-01
2,35	1,22E+02	5,99E-03	3,24E+02	-6,55E-01	1,45E+04	9,32E-01
2,42	1,21E+02	3,57E-03	3,23E+02	-6,52E-01	1,45E+04	8,04E-01
2,50	1,21E+02	1,42E-03	3,22E+02	-6,07E-01	1,46E+04	1,45E+00
2,58	1,20E+02	-3,74E-04	3,21E+02	-4,06E-01	1,46E+04	9,07E-01
2,67	1,19E+02	-3,03E-02	3,20E+02	-5,14E-01	1,46E+04	8,59E-01
2,76	1,19E+02	-2,15E-04	3,20E+02	-1,45E-01	1,46E+04	8,50E-01
2,86	1,18E+02	5,51E-03	3,18E+02	-3,62E-02	1,46E+04	7,91E-01
2,96	1,18E+02	3,72E-02	3,16E+02	7,33E-02	1,47E+04	1,72E-01
3,08	1,17E+02	7,75E-02	3,11E+02	-3,32E-02	1,46E+04	-3,13E-01
3,20	1,15E+02	5,87E-02	3,06E+02	-1,85E-02	1,45E+04	-9,92E-01
3,33	1,14E+02	5,19E-02	3,00E+02	-2,36E-01	1,44E+04	-9,55E-01
3,48	1,12E+02	6,88E-02	2,95E+02	-2,52E-01	1,42E+04	-1,37E+00
3,64	1,11E+02	6,57E-02	2,89E+02	-3,22E-01	1,42E+04	-1,38E+00
3,81	1,10E+02	6,51E-02	2,84E+02	-5,76E-01	1,41E+04	-1,65E+00
4,00	1,08E+02	7,19E-02	2,77E+02	-6,55E-01	1,40E+04	-1,65E+00
4,21	1,05E+02	7,49E-02	2,67E+02	-6,54E-01	1,37E+04	-1,69E+00
4,44	1,02E+02	7,18E-02	2,54E+02	-7,93E-01	1,34E+04	-1,81E+00
4,71	9,80E+01	6,58E-02	2,38E+02	-8,00E-01	1,29E+04	-1,78E+00
5,00	9,16E+01	6,32E-02	2,23E+02	-7,38E-01	1,24E+04	-1,56E+00
5,33	8,88E+01	6,05E-02	2,13E+02	-7,23E-01	1,22E+04	-1,42E+00
5,71	8,66E+01	5,53E-02	2,03E+02	-9,25E-01	1,23E+04	-1,41E+00
6,15	7,83E+01	4,64E-02	1,93E+02	-1,23E+00	1,21E+04	-1,12E+00
6,67	7,38E+01	3,76E-02	2,24E+02	-4,98E-01	1,26E+04	-1,27E+00
7,27	7,91E+01	4,12E-02	3,62E+02	-4,85E-01	1,50E+04	-1,69E+00
8,00	6,24E+01	3,46E-02	5,11E+02	-4,03E-01	1,56E+04	-1,57E+00
8,89	2,39E+01	1,51E-02	5,01E+02	-1,83E-01	1,07E+04	-7,73E-01
10,00	4,05E+00	2,53E-03	3,96E+02	-6,38E-02	5,32E+03	-1,98E-01
11,43	3,30E-01	-1,28E-03	3,04E+02	-2,57E-02	2,34E+03	8,76E-03
13,33	3,03E-02	-1,57E-03	2,33E+02	-1,19E-02	9,76E+02	4,30E-02
16,00	1,15E-02	-7,79E-04	1,74E+02	-7,95E-03	4,31E+02	2,74E-02
20,00	4,58E-03	-3,40E-04	1,24E+02	-4,97E-03	2,25E+02	1,20E-02
26,67	1,53E-03	-1,23E-04	8,56E+01	-4,47E-03	1,38E+02	4,30E-03
40,00	3,52E-04	-5,21E-05	5,98E+01	-6,64E-04	9,28E+01	1,41E-03

30	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo (s)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
2,00	9,02E+01	1,04E+02	2,58E+02	1,66E+02	1,15E+04	-6,12E+02
2,05	9,03E+01	1,05E+02	2,58E+02	1,53E+02	1,15E+04	-6,10E+02
2,11	9,02E+01	1,06E+02	2,57E+02	1,40E+02	1,15E+04	-6,16E+02
2,16	9,02E+01	1,05E+02	2,56E+02	1,27E+02	1,15E+04	-6,34E+02
2,22	9,01E+01	1,05E+02	2,55E+02	1,19E+02	1,15E+04	-6,59E+02
2,29	8,98E+01	1,06E+02	2,53E+02	1,12E+02	1,15E+04	-6,74E+02
2,35	8,95E+01	1,07E+02	2,50E+02	1,14E+02	1,14E+04	-6,95E+02
2,42	8,90E+01	1,07E+02	2,47E+02	1,14E+02	1,14E+04	-7,10E+02
2,50	8,84E+01	1,08E+02	2,44E+02	1,17E+02	1,13E+04	-7,17E+02
2,58	8,77E+01	1,10E+02	2,39E+02	1,28E+02	1,13E+04	-6,98E+02
2,67	8,69E+01	1,12E+02	2,34E+02	1,46E+02	1,12E+04	-6,51E+02
2,76	8,63E+01	1,15E+02	2,28E+02	1,71E+02	1,12E+04	-5,94E+02
2,86	8,56E+01	1,15E+02	2,22E+02	1,93E+02	1,11E+04	-5,35E+02
2,96	8,45E+01	1,16E+02	2,13E+02	2,15E+02	1,11E+04	-4,79E+02
3,08	8,32E+01	1,16E+02	2,02E+02	2,55E+02	1,11E+04	-3,99E+02
3,20	8,21E+01	1,17E+02	1,90E+02	3,21E+02	1,11E+04	-3,10E+02
3,33	8,11E+01	1,16E+02	1,76E+02	3,91E+02	1,11E+04	-2,40E+02
3,48	7,92E+01	1,15E+02	1,60E+02	4,73E+02	1,10E+04	-2,13E+02
3,64	7,77E+01	1,12E+02	1,43E+02	5,72E+02	1,10E+04	-2,10E+02
3,81	7,77E+01	1,09E+02	1,28E+02	6,64E+02	1,09E+04	-1,95E+02
4,00	7,63E+01	1,08E+02	1,12E+02	7,70E+02	1,08E+04	-1,84E+02
4,21	7,45E+01	1,07E+02	9,62E+01	8,63E+02	1,07E+04	-1,92E+02
4,44	7,28E+01	1,06E+02	8,58E+01	9,23E+02	1,07E+04	-2,50E+02
4,71	7,35E+01	1,05E+02	8,46E+01	9,16E+02	1,08E+04	-3,03E+02
5,00	7,43E+01	1,06E+02	8,51E+01	8,70E+02	1,11E+04	-3,82E+02
5,33	7,24E+01	1,10E+02	8,34E+01	8,17E+02	1,12E+04	-3,77E+02
5,71	7,14E+01	1,11E+02	9,98E+01	7,28E+02	1,18E+04	-3,69E+02
6,15	7,97E+01	9,23E+01	1,92E+02	1,40E+03	1,41E+04	-6,53E+02
6,67	8,72E+01	7,32E+01	2,83E+02	5,96E+02	1,48E+04	-1,64E+03
7,27	8,82E+01	5,02E+01	4,79E+02	-3,05E+02	1,72E+04	-1,81E+03
8,00	5,60E+01	2,40E+01	5,89E+02	-6,52E+02	1,51E+04	-1,34E+03
8,89	1,74E+01	6,37E+00	5,31E+02	-5,21E+02	8,95E+03	-6,52E+02
10,00	2,24E+00	6,56E-01	4,15E+02	-2,80E+02	4,13E+03	-1,97E+02
11,43	-3,07E-02	-1,05E-01	3,20E+02	-1,18E+02	1,79E+03	-1,74E+00
13,33	-7,25E-02	-7,56E-02	2,44E+02	-3,91E+01	7,88E+02	4,32E+01
16,00	-2,26E-02	-2,86E-02	1,79E+02	-1,01E+01	3,84E+02	3,12E+01
20,00	-6,09E-03	-9,50E-03	1,26E+02	-2,03E+00	2,17E+02	1,44E+01
26,67	-1,72E-03	-3,19E-03	8,65E+01	-2,81E-01	1,38E+02	5,46E+00
40,00	-5,24E-04	-1,14E-03	6,01E+01	8,43E-03	9,33E+01	1,73E+00

60	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo (s)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
2,00	2,26E+01	2,78E+02	9,95E+01	5,57E+02	4,30E+03	-1,25E+03
2,05	2,26E+01	2,81E+02	9,82E+01	5,47E+02	4,28E+03	-1,25E+03
2,11	2,24E+01	2,84E+02	9,73E+01	5,26E+02	4,27E+03	-1,24E+03
2,16	2,20E+01	2,86E+02	9,62E+01	5,07E+02	4,25E+03	-1,27E+03
2,22	2,21E+01	2,89E+02	9,45E+01	5,01E+02	4,24E+03	-1,28E+03
2,29	2,21E+01	2,91E+02	9,31E+01	4,85E+02	4,24E+03	-1,25E+03
2,35	2,17E+01	2,94E+02	9,17E+01	4,70E+02	4,22E+03	-1,25E+03
2,42	2,13E+01	2,96E+02	8,93E+01	4,69E+02	4,21E+03	-1,28E+03
2,50	2,12E+01	2,97E+02	8,65E+01	4,62E+02	4,20E+03	-1,28E+03
2,58	2,11E+01	3,00E+02	8,40E+01	4,54E+02	4,19E+03	-1,23E+03
2,67	2,07E+01	3,02E+02	8,08E+01	4,63E+02	4,18E+03	-1,21E+03
2,76	2,03E+01	3,01E+02	7,69E+01	4,69E+02	4,17E+03	-1,25E+03
2,86	2,04E+01	3,02E+02	7,27E+01	4,74E+02	4,18E+03	-1,26E+03
2,96	2,06E+01	3,05E+02	6,77E+01	5,14E+02	4,20E+03	-1,17E+03
3,08	2,03E+01	3,07E+02	6,13E+01	5,62E+02	4,21E+03	-1,11E+03
3,20	2,00E+01	3,06E+02	5,45E+01	5,83E+02	4,23E+03	-1,13E+03
3,33	1,97E+01	3,07E+02	4,51E+01	6,49E+02	4,21E+03	-1,17E+03
3,48	1,90E+01	3,09E+02	3,42E+01	7,48E+02	4,23E+03	-1,14E+03
3,64	1,82E+01	3,12E+02	2,03E+01	8,37E+02	4,27E+03	-1,06E+03
3,81	2,07E+01	3,14E+02	7,72E+00	9,28E+02	4,38E+03	-9,29E+02
4,00	2,21E+01	3,17E+02	-9,13E+00	1,08E+03	4,49E+03	-8,65E+02
4,21	2,57E+01	3,17E+02	-2,59E+01	1,26E+03	4,63E+03	-8,74E+02
4,44	2,75E+01	3,14E+02	-3,86E+01	1,42E+03	4,80E+03	-1,02E+03
4,71	3,11E+01	3,13E+02	-4,25E+01	1,55E+03	5,31E+03	-1,14E+03
5,00	3,81E+01	3,15E+02	-3,52E+01	1,60E+03	6,25E+03	-1,34E+03
5,33	5,00E+01	3,14E+02	-3,46E+00	1,46E+03	7,91E+03	-1,75E+03
5,71	6,66E+01	3,06E+02	7,19E+01	1,01E+03	1,02E+04	-2,56E+03
6,15	8,31E+01	2,64E+02	3,55E+02	-6,16E+02	1,41E+04	-3,61E+03
6,67	7,06E+01	1,75E+02	5,34E+02	-9,82E+02	1,66E+04	-2,60E+03
7,27	4,46E+01	8,46E+01	6,31E+02	-9,97E+02	1,41E+04	-1,64E+03
8,00	1,71E+01	2,80E+01	6,23E+02	-6,98E+02	8,92E+03	-6,34E+02
8,89	2,76E+00	5,76E+00	5,29E+02	-3,45E+02	4,18E+03	-1,03E+02
10,00	-3,41E-01	6,94E-01	4,26E+02	-1,36E+02	1,76E+03	5,93E+01
11,43	-3,47E-01	3,79E-02	3,36E+02	-4,54E+01	8,49E+02	8,05E+01
13,33	-1,43E-01	-8,42E-03	2,56E+02	-1,24E+01	4,85E+02	5,60E+01
16,00	-4,84E-02	-4,33E-03	1,86E+02	-2,38E+00	3,07E+02	2,76E+01
20,00	-1,50E-02	-1,62E-03	1,29E+02	-1,92E-01	2,02E+02	1,07E+01
26,67	-4,59E-03	-6,62E-04	8,75E+01	1,05E-01	1,36E+02	3,52E+00
40,00	-1,26E-03	-3,76E-04	6,04E+01	7,15E-02	9,35E+01	9,62E-01

90	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
(s)						
2,00	-2,07E+01	3,87E+02	2,16E+01	7,46E+02	2,77E+02	-9,02E+02
2,05	-2,07E+01	3,90E+02	2,14E+01	7,36E+02	2,93E+02	-9,04E+02
2,11	-2,07E+01	3,93E+02	2,12E+01	7,21E+02	3,16E+02	-9,04E+02
2,16	-2,07E+01	3,98E+02	2,11E+01	7,15E+02	3,53E+02	-9,08E+02
2,22	-2,08E+01	4,00E+02	2,13E+01	7,10E+02	4,00E+02	-8,99E+02
2,29	-2,07E+01	4,01E+02	2,15E+01	6,95E+02	4,49E+02	-8,89E+02
2,35	-2,07E+01	4,03E+02	2,08E+01	6,85E+02	4,82E+02	-8,88E+02
2,42	-2,03E+01	4,04E+02	2,00E+01	6,56E+02	5,18E+02	-8,83E+02
2,50	-1,99E+01	4,07E+02	1,87E+01	6,37E+02	5,63E+02	-8,85E+02
2,58	-1,95E+01	4,08E+02	1,89E+01	6,35E+02	6,26E+02	-8,75E+02
2,67	-1,93E+01	4,06E+02	1,92E+01	6,27E+02	7,09E+02	-8,56E+02
2,76	-1,90E+01	4,07E+02	1,97E+01	6,12E+02	7,76E+02	-8,45E+02
2,86	-1,90E+01	4,08E+02	1,81E+01	6,16E+02	8,44E+02	-8,49E+02
2,96	-1,82E+01	4,07E+02	1,52E+01	5,79E+02	8,71E+02	-8,49E+02
3,08	-1,78E+01	4,10E+02	1,25E+01	5,49E+02	9,34E+02	-8,67E+02
3,20	-1,63E+01	4,12E+02	8,51E+00	5,88E+02	9,81E+02	-8,82E+02
3,33	-1,57E+01	4,11E+02	5,52E+00	6,19E+02	1,08E+03	-8,71E+02
3,48	-1,45E+01	4,09E+02	-3,42E-01	6,62E+02	1,20E+03	-8,73E+02
3,64	-1,35E+01	4,12E+02	-8,73E+00	7,64E+02	1,27E+03	-8,60E+02
3,81	-1,33E+01	4,15E+02	-2,00E+01	8,61E+02	1,40E+03	-8,46E+02
4,00	-1,20E+01	4,15E+02	-3,79E+01	9,56E+02	1,47E+03	-8,56E+02
4,21	-1,14E+01	4,23E+02	-6,18E+01	1,19E+03	1,52E+03	-8,64E+02
4,44	-1,15E+01	4,35E+02	-9,60E+01	1,62E+03	1,64E+03	-9,35E+02
4,71	-1,13E+01	4,49E+02	-1,43E+02	2,30E+03	1,76E+03	-1,07E+03
5,00	-1,12E+01	4,76E+02	-2,06E+02	3,48E+03	2,09E+03	-1,24E+03
5,33	-1,18E+01	5,23E+02	-2,76E+02	5,72E+03	3,21E+03	-1,58E+03
5,71	-1,48E+01	6,01E+02	-2,45E+02	1,06E+04	7,30E+03	-2,39E+03
6,15	-2,62E+01	3,41E+02	1,14E+03	1,17E+04	2,00E+04	-2,04E+03
6,67	-1,12E+01	2,28E+00	7,87E+02	-1,40E+03	3,68E+03	5,58E+02
7,27	-5,29E+00	1,37E+01	5,63E+02	-4,43E+02	9,72E+02	2,83E+02
8,00	-2,67E+00	6,15E+00	5,19E+02	-4,78E+01	4,88E+02	9,57E+01
8,89	-1,36E+00	1,70E+00	4,72E+02	1,31E+01	4,57E+02	2,18E+01
10,00	-6,71E-01	3,42E-01	4,08E+02	8,59E+00	4,80E+02	3,54E+00
11,43	-3,05E-01	4,93E-02	3,33E+02	2,34E+00	4,45E+02	5,52E-01
13,33	-1,23E-01	3,08E-03	2,56E+02	1,23E-01	3,67E+02	1,06E-01
16,00	-4,41E-02	1,60E-04	1,86E+02	9,72E-03	2,76E+02	3,26E-02
20,00	-1,45E-02	-8,76E-05	1,29E+02	-1,03E-02	1,95E+02	1,09E-02
26,67	-4,56E-03	-5,66E-05	8,76E+01	-4,89E-03	1,34E+02	4,40E-03
40,00	-1,22E-03	-1,11E-05	6,05E+01	-3,55E-03	9,32E+01	1,43E-03

120	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo (s)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
2,00	-4,77E+01	3,15E+02	2,26E+01	5,78E+02	-8,54E+02	9,99E+01
2,05	-4,81E+01	3,18E+02	2,17E+01	5,73E+02	-8,51E+02	9,68E+01
2,11	-4,84E+01	3,21E+02	2,07E+01	5,68E+02	-8,48E+02	8,49E+01
2,16	-4,87E+01	3,23E+02	1,99E+01	5,59E+02	-8,35E+02	9,09E+01
2,22	-4,89E+01	3,26E+02	1,89E+01	5,55E+02	-8,21E+02	9,48E+01
2,29	-4,93E+01	3,28E+02	1,74E+01	5,49E+02	-8,21E+02	7,66E+01
2,35	-4,95E+01	3,31E+02	1,59E+01	5,47E+02	-8,11E+02	6,24E+01
2,42	-4,95E+01	3,33E+02	1,43E+01	5,47E+02	-7,86E+02	6,88E+01
2,50	-4,96E+01	3,34E+02	1,23E+01	5,38E+02	-7,64E+02	7,68E+01
2,58	-4,97E+01	3,36E+02	9,54E+00	5,40E+02	-7,56E+02	4,36E+01
2,67	-4,98E+01	3,38E+02	6,20E+00	5,65E+02	-7,39E+02	5,41E+00
2,76	-4,97E+01	3,37E+02	3,01E+00	5,69E+02	-6,99E+02	3,50E+01
2,86	-4,96E+01	3,37E+02	-6,93E-01	5,65E+02	-6,60E+02	6,25E+01
2,96	-4,97E+01	3,41E+02	-6,35E+00	6,12E+02	-6,55E+02	-6,74E+00
3,08	-4,95E+01	3,42E+02	-1,34E+01	6,77E+02	-6,44E+02	-8,34E+01
3,20	-4,92E+01	3,41E+02	-2,04E+01	7,03E+02	-6,08E+02	-6,11E+01
3,33	-4,91E+01	3,42E+02	-2,90E+01	7,65E+02	-5,63E+02	-1,10E+01
3,48	-4,86E+01	3,43E+02	-4,00E+01	8,76E+02	-5,57E+02	-3,65E+01
3,64	-4,67E+01	3,45E+02	-5,37E+01	9,74E+02	-5,78E+02	-1,06E+02
3,81	-4,81E+01	3,46E+02	-6,69E+01	1,08E+03	-5,28E+02	-2,29E+02
4,00	-4,76E+01	3,48E+02	-8,34E+01	1,26E+03	-4,64E+02	-3,67E+02
4,21	-5,00E+01	3,47E+02	-1,03E+02	1,45E+03	-3,65E+02	-3,84E+02
4,44	-5,02E+01	3,42E+02	-1,22E+02	1,62E+03	-2,37E+02	-1,85E+02
4,71	-5,29E+01	3,38E+02	-1,38E+02	1,82E+03	-5,60E+01	3,58E+01
5,00	-5,70E+01	3,34E+02	-1,49E+02	2,05E+03	1,67E+02	3,37E+02
5,33	-6,57E+01	3,30E+02	-1,55E+02	2,23E+03	2,39E+02	8,46E+02
5,71	-7,92E+01	3,18E+02	-1,57E+02	2,39E+03	-4,52E+01	1,71E+03
6,15	-9,78E+01	2,74E+02	-5,91E+01	2,64E+03	2,49E+03	3,72E+03
6,67	-8,72E+01	1,78E+02	2,18E+02	1,54E+03	2,04E+03	2,96E+03
7,27	-5,76E+01	8,65E+01	4,21E+02	9,69E+02	7,90E+02	1,85E+03
8,00	-2,52E+01	2,90E+01	5,26E+02	5,73E+02	8,32E+02	7,33E+02
8,89	-6,98E+00	6,15E+00	5,04E+02	2,99E+02	1,19E+03	1,34E+02
10,00	-1,59E+00	8,46E-01	4,22E+02	1,30E+02	1,07E+03	-5,31E+01
11,43	-4,58E-01	9,85E-02	3,36E+02	4,62E+01	7,36E+02	-7,96E+01
13,33	-1,57E-01	1,52E-02	2,56E+02	1,24E+01	4,69E+02	-5,59E+01
16,00	-5,16E-02	4,56E-03	1,86E+02	2,39E+00	3,06E+02	-2,76E+01
20,00	-1,59E-02	1,54E-03	1,29E+02	1,73E-01	2,02E+02	-1,07E+01
26,67	-4,89E-03	6,22E-04	8,75E+01	-1,15E-01	1,36E+02	-3,52E+00
40,00	-1,35E-03	3,66E-04	6,04E+01	-7,76E-02	9,35E+01	-9,60E-01

150	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo (s)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
2,00	-7,20E+01	1,40E+02	3,94E+01	1,23E+02	-1,95E+03	5,14E+02
2,05	-7,23E+01	1,42E+02	3,78E+01	1,13E+02	-1,94E+03	4,91E+02
2,11	-7,25E+01	1,43E+02	3,60E+01	1,01E+02	-1,93E+03	4,74E+02
2,16	-7,26E+01	1,43E+02	3,40E+01	8,89E+01	-1,92E+03	4,73E+02
2,22	-7,27E+01	1,44E+02	3,20E+01	7,62E+01	-1,90E+03	4,82E+02
2,29	-7,27E+01	1,45E+02	2,96E+01	6,63E+01	-1,88E+03	4,81E+02
2,35	-7,25E+01	1,46E+02	2,73E+01	5,85E+01	-1,84E+03	4,81E+02
2,42	-7,24E+01	1,46E+02	2,44E+01	5,21E+01	-1,80E+03	4,92E+02
2,50	-7,20E+01	1,47E+02	2,12E+01	3,97E+01	-1,75E+03	5,10E+02
2,58	-7,17E+01	1,48E+02	1,72E+01	3,65E+01	-1,72E+03	5,10E+02
2,67	-7,12E+01	1,50E+02	1,22E+01	4,54E+01	-1,67E+03	4,67E+02
2,76	-7,12E+01	1,52E+02	6,30E+00	7,33E+01	-1,67E+03	4,02E+02
2,86	-7,07E+01	1,53E+02	-1,12E+00	1,06E+02	-1,66E+03	3,26E+02
2,96	-7,03E+01	1,53E+02	-9,03E+00	1,36E+02	-1,65E+03	2,74E+02
3,08	-7,01E+01	1,53E+02	-1,89E+01	1,91E+02	-1,69E+03	1,95E+02
3,20	-6,90E+01	1,54E+02	-3,06E+01	2,64E+02	-1,70E+03	7,64E+01
3,33	-6,92E+01	1,54E+02	-4,35E+01	3,64E+02	-1,74E+03	-5,33E+00
3,48	-6,85E+01	1,54E+02	-5,90E+01	4,93E+02	-1,81E+03	-8,64E+01
3,64	-6,76E+01	1,52E+02	-7,43E+01	6,08E+02	-1,77E+03	-1,15E+02
3,81	-6,94E+01	1,47E+02	-8,77E+01	7,39E+02	-1,76E+03	-1,13E+02
4,00	-7,08E+01	1,45E+02	-1,03E+02	9,04E+02	-1,81E+03	-1,82E+02
4,21	-6,91E+01	1,44E+02	-1,17E+02	1,06E+03	-1,68E+03	-2,25E+02
4,44	-6,76E+01	1,40E+02	-1,28E+02	1,18E+03	-1,52E+03	-1,39E+02
4,71	-7,02E+01	1,35E+02	-1,36E+02	1,29E+03	-1,51E+03	-4,85E+01
5,00	-7,13E+01	1,33E+02	-1,41E+02	1,40E+03	-1,56E+03	-6,17E+01
5,33	-6,98E+01	1,34E+02	-1,43E+02	1,41E+03	-1,50E+03	-1,10E+02
5,71	-7,01E+01	1,31E+02	-1,36E+02	1,43E+03	-1,26E+03	-1,44E+01
6,15	-8,11E+01	1,08E+02	-8,49E+01	1,57E+03	-1,50E+03	3,66E+02
6,67	-9,00E+01	7,86E+01	-8,50E-01	9,16E+02	-4,32E-01	1,48E+03
7,27	-9,31E+01	5,20E+01	1,81E+02	7,90E+02	1,63E+03	1,76E+03
8,00	-6,06E+01	2,52E+01	3,80E+02	6,64E+02	3,24E+03	1,34E+03
8,89	-2,03E+01	7,39E+00	4,53E+02	4,70E+02	3,76E+03	6,60E+02
10,00	-3,54E+00	1,34E+00	4,00E+02	2,63E+02	2,83E+03	2,00E+02
11,43	-4,63E-01	2,55E-01	3,18E+02	1,16E+02	1,59E+03	2,34E+00
13,33	-8,95E-02	7,95E-02	2,44E+02	3,89E+01	7,64E+02	-4,31E+01
16,00	-2,31E-02	2,80E-02	1,79E+02	1,01E+01	3,83E+02	-3,11E+01
20,00	-6,13E-03	9,16E-03	1,26E+02	2,02E+00	2,17E+02	-1,44E+01
26,67	-1,72E-03	3,05E-03	8,65E+01	2,73E-01	1,38E+02	-5,46E+00
40,00	-5,19E-04	1,10E-03	6,01E+01	-1,24E-02	9,33E+01	-1,73E+00

180	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Periodo	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)	(kN*m/m2)
(s)						
2,00	-8,26E+01	3,46E-02	5,14E+01	5,08E-02	-2,37E+03	8,06E-01
2,05	-8,25E+01	4,92E-02	5,00E+01	2,61E-02	-2,34E+03	1,10E+00
2,11	-8,22E+01	4,28E-02	4,84E+01	1,55E-02	-2,31E+03	1,26E+00
2,16	-8,19E+01	5,40E-02	4,69E+01	-5,26E-02	-2,27E+03	2,07E+00
2,22	-8,15E+01	5,33E-02	4,51E+01	-1,12E-01	-2,24E+03	1,92E+00
2,29	-8,11E+01	6,46E-02	4,29E+01	-1,63E-01	-2,21E+03	2,09E+00
2,35	-8,06E+01	3,69E-02	4,09E+01	-2,58E-01	-2,16E+03	1,23E+00
2,42	-8,02E+01	3,82E-02	3,83E+01	-2,94E-01	-2,13E+03	1,38E+00
2,50	-7,96E+01	3,18E-02	3,56E+01	-3,43E-01	-2,09E+03	1,05E+00
2,58	-7,89E+01	7,40E-03	3,23E+01	-4,05E-01	-2,03E+03	1,09E+00
2,67	-7,82E+01	-3,77E-02	2,86E+01	-5,55E-01	-1,98E+03	1,02E+00
2,76	-7,73E+01	1,47E-02	2,46E+01	-3,59E-01	-1,89E+03	1,16E+00
2,86	-7,68E+01	2,04E-02	2,01E+01	-4,11E-01	-1,83E+03	1,21E+00
2,96	-7,58E+01	4,40E-02	1,52E+01	-2,77E-01	-1,72E+03	1,09E+00
3,08	-7,53E+01	7,64E-02	9,59E+00	-1,77E-01	-1,64E+03	8,16E-01
3,20	-7,41E+01	2,38E-02	3,43E+00	-3,51E-01	-1,53E+03	7,28E-01
3,33	-7,34E+01	3,08E-02	-2,56E+00	-2,83E-01	-1,41E+03	8,19E-01
3,48	-7,26E+01	2,45E-02	-1,01E+01	-2,51E-01	-1,31E+03	5,06E-01
3,64	-7,10E+01	1,78E-02	-1,53E+01	-2,27E-01	-1,10E+03	1,83E-01
3,81	-7,12E+01	1,68E-02	-2,42E+01	-2,12E-01	-1,04E+03	1,89E-01
4,00	-6,97E+01	2,51E-02	-3,10E+01	-1,67E-01	-8,38E+02	4,84E-01
4,21	-6,86E+01	2,00E-02	-3,82E+01	-9,53E-02	-6,41E+02	2,64E-01
4,44	-6,97E+01	1,23E-02	-4,88E+01	-1,93E-01	-6,69E+02	1,99E-01
4,71	-6,89E+01	5,88E-03	-5,45E+01	-2,91E-01	-5,20E+02	1,82E-01
5,00	-6,77E+01	3,23E-03	-5,68E+01	-1,61E-01	-2,48E+02	-7,61E-02
5,33	-7,13E+01	-8,43E-04	-6,51E+01	-1,58E-01	-4,35E+02	-2,01E-01
5,71	-7,56E+01	-1,75E-03	-7,14E+01	-3,24E-01	-9,58E+02	4,31E-02
6,15	-7,29E+01	9,32E-04	-5,85E+01	-2,34E-01	-9,67E+02	1,47E-01
6,67	-7,27E+01	-2,69E-03	-1,34E+01	-6,44E-02	-2,28E+01	-1,42E-01
7,27	-8,03E+01	-1,31E-03	1,04E+02	6,52E-02	1,79E+03	-4,30E-01
8,00	-6,41E+01	3,31E-03	2,92E+02	9,81E-02	3,96E+03	-6,09E-01
8,89	-2,48E+01	4,44E-03	4,03E+02	2,69E-02	4,91E+03	-4,62E-01
10,00	-4,28E+00	9,47E-04	3,75E+02	-1,92E-02	3,80E+03	-1,63E-01
11,43	-3,16E-01	-1,41E-03	3,01E+02	-1,98E-02	2,10E+03	6,84E-03
13,33	8,72E-03	-1,50E-03	2,33E+02	-1,35E-02	9,51E+02	4,33E-02
16,00	1,14E-02	-8,37E-04	1,74E+02	-7,31E-03	4,30E+02	2,74E-02
20,00	4,57E-03	-3,41E-04	1,24E+02	-5,87E-03	2,25E+02	1,21E-02
26,67	1,53E-03	-1,17E-04	8,56E+01	-4,48E-03	1,38E+02	4,41E-03
40,00	3,53E-04	-5,40E-05	5,98E+01	-8,09E-04	9,28E+01	1,40E-03

## 8.2 Materiais API 5L

Tabela 15 – Propriedades mecânicas dos graus de aço conforme a API 5L

Grau API	Tensão de escoamento		Resistência à tração		$\alpha_h$ $R_{t0,5} / R_m$
	$R_{t0,5}$ MPa		$R_m$ MPa		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo
X42	290	495	415	655	0,93
X46	320	520	435	655	0,93
X52	360	525	460	655	0,93
X56	390	540	490	760	0,93
X60	415	565	520	760	0,93
X65	450	570	535	760	0,93
X70	485	605	570	760	0,93
X80	555	675	625	825	0,93

Fonte: Adaptado de API (2012)

Onde:

$R_{t0,5}$ : tensão de escoamento para 0,5% de deformação;

$R_m$ : limite de resistência à tração.

### 8.3 Posição dos suportes do *stinger* e da barcaça

O *stinger* é definido dentro do *Orcaflex* simplesmente em termos dos seus suportes, cujas dimensões são dadas na Figura 107. A estrutura treliçada não foi modelada neste trabalho, portanto não possui influência no resultado almejado. Os suportes do *stinger* e da barcaça são definidos em termos de posição ao longo de um caminho e sua altura (*offset*) perpendicular ao caminho. Este caminho tem sua origem definida na Tabela 16. O caminho é dividido em um trecho retilíneo e outro que possui a curvatura. Todos os raios de *stinger*, com a posição dos suportes é dado na Tabela 17. Nesta tabela, o asterisco indica os suportes com rolete duplo.

Figura 107 – Dimensões dos suportes e respectiva visualização 3D gerada no *Orcaflex*

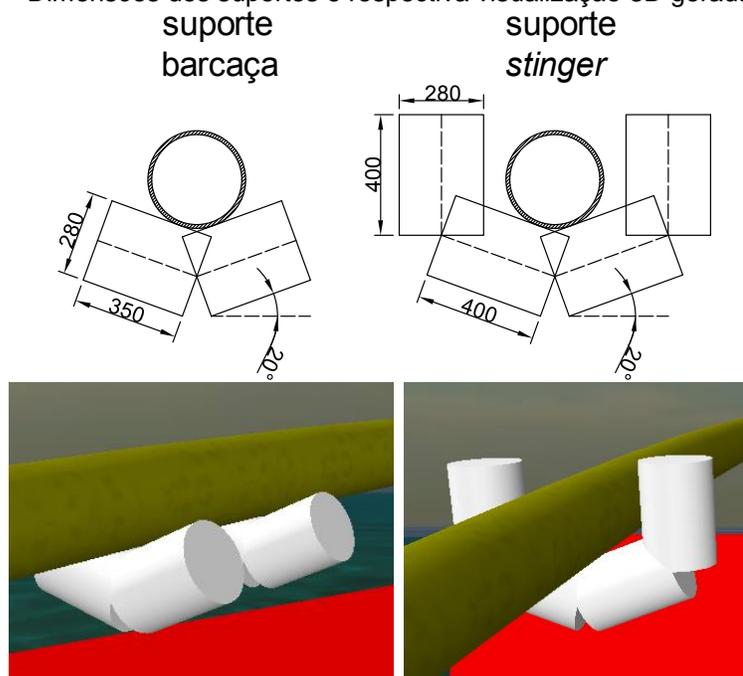


Tabela 16 – Origem do caminho onde estão posicionados todos os suportes. Coordenadas em relação ao sistema da barcaça

x (m)	y (m)	z (m)
23,7160	9,4921	3,6531

Tabela 17 – Definição geométrica do caminho e posição dos suportes

Support Path Sections (220')			Support Path Sections (250')			Support Path Sections (275')		
No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)
1,0000	11,5707	Infinity	1,0000	11,6414	Infinity	1	11,7974	Infinity
2,0000	45,1273	67,0560	2,0000	44,9284	76,2000	2	44,7272	83,82
	Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z off-set (m)
Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000
Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000
Suporte 3*	15,9254	0,0000	Suporte 3*	15,9241	0,0000	Suporte 3*	15,9247	0,0000
Suporte 3**	16,6874	0,0000	Suporte 3**	16,6861	0,0000	Suporte 3**	16,6867	0,0000
Suporte 4*	22,3523	0,0000	Suporte 4*	22,3298	0,0000	Suporte 4*	22,3267	0,0000
Suporte 4**	23,1143	0,0000	Suporte 4**	23,0918	0,0000	Suporte 4**	23,0887	0,0000
Suporte 5	30,9131	0,0000	Suporte 5	30,8436	0,0000	Suporte 5	30,8105	0,0000
Suporte 6	36,0443	0,0000	Suporte 6	35,9594	0,0000	Suporte 6	35,9321	0,0000
Suporte 7	41,1473	0,0000	Suporte 7	41,0595	0,0000	Suporte 7	41,0305	0,0000
Suporte 8	46,2929	0,0000	Suporte 8	46,2059	0,0000	Suporte 8	46,1708	0,0000
Suporte 9	51,4545	0,0000	Suporte 9	51,3610	0,0000	Suporte 9	51,3164	0,0000
Suporte 10	56,6980	0,0000	Suporte 10	56,5698	0,0000	Suporte 10	56,5246	0,0000

Support Path Sections (300')			Support Path Sections (350')			Support Path Sections (400')		
No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)
1,0000	11,9535	Infinity	1,0000	12,2655	Infinity	1	12,7338	Infinity
2,0000	44,512	91,44	2,0000	44,1113	106,68	2	43,5366	121,92
	Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z off-set (m)
Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000
Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000
Suporte 3*	15,9251	0,0000	Suporte 3*	15,9253	0,0000	Suporte 3*	15,9206	0,0000
Suporte 3**	16,6871	0,0000	Suporte 3**	16,6873	0,0000	Suporte 3**	16,6826	0,0000
Suporte 4*	22,3108	0,0000	Suporte 4*	22,3237	0,0000	Suporte 4*	22,3087	0,0000
Suporte 4**	23,0728	0,0000	Suporte 4**	23,0857	0,0000	Suporte 4**	23,0707	0,0000
Suporte 5	30,7731	0,0000	Suporte 5	30,6944	0,0000	Suporte 5	30,6209	0,0000
Suporte 6	35,8949	0,0000	Suporte 6	35,8158	0,0000	Suporte 6	35,7414	0,0000
Suporte 7	40,9935	0,0000	Suporte 7	40,9120	0,0000	Suporte 7	40,8386	0,0000
Suporte 8	46,1297	0,0000	Suporte 8	46,0466	0,0000	Suporte 8	45,9709	0,0000
Suporte 9	51,2692	0,0000	Suporte 9	51,1805	0,0000	Suporte 9	51,1031	0,0000
Suporte 10	56,4655	0,0000	Suporte 10	56,3768	0,0000	Suporte 10	56,2704	0,0000

Tabela 17 – Continuação

Support Path Sections (450')			Support Path Sections (500')			Support Path Sections (600')		
No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)	No.	Length (m)	Bend Radius (m)
1,0000	12,8917	Infinity	1,0000	11,3822	Infinity	1	12,4529	Infinity
2,0000	43,3237	137,16	2,0000	44,7715	152,4	2	43,6885	182,88
	Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z offset (m)		Arc Length (m)	z offset (m)
Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000	Suporte 1	2,8904	0,0000
Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000	Suporte 2	10,7851	0,0000
Suporte 3*	15,9210	0,0000	Suporte 3*	15,9209	0,0000	Suporte 3*	15,9215	0,0000
Suporte 3**	16,6830	0,0000	Suporte 3**	16,6829	0,0000	Suporte 3**	16,6835	0,0000
Suporte 4*	22,3029	0,0000	Suporte 4*	22,3020	0,0000	Suporte 4*	22,3029	0,0000
Suporte 4**	23,0649	0,0000	Suporte 4**	23,0640	0,0000	Suporte 4**	23,0649	0,0000
Suporte 5	30,5540	0,0000	Suporte 5	30,5028	0,0000	Suporte 5	30,4596	0,0000
Suporte 6	35,6727	0,0000	Suporte 6	35,6207	0,0000	Suporte 6	35,5842	0,0000
Suporte 7	40,7695	0,0000	Suporte 7	40,7168	0,0000	Suporte 7	40,6857	0,0000
Suporte 8	45,9146	0,0000	Suporte 8	45,8580	0,0000	Suporte 8	45,8315	0,0000
Suporte 9	51,0458	0,0000	Suporte 9	50,9783	0,0000	Suporte 9	50,9639	0,0000
Suporte 10	56,2154	0,0000	Suporte 10	56,1537	0,0000	Suporte 10	56,1414	0,0000

#### 8.4 Configuração referencial

O conjunto de pontos que define a configuração referencial em relação ao sistema de coordenadas da barça é dado abaixo:

Tabela 18 – Coordenadas das extremidades do duto ligada ao tracionador (A) e ancorada (B), em relação ao sistema de coordenadas da barça

Ponto	x (m)	y (m)	z (m)
A	23,7160	9,4921	3,9744
B	-934,4300	9,4921	-150,0000

Tabela 19 – Coordenadas dos pontos dos *fairleads* e pontos de ancoragem da configuração referencial, em relação ao sistema de coordenadas da barçaça.

Ponto	x (m)	y (m)	z (m)		Ponto	x (m)	y (m)	z (m)
FP1	0,0000	13,4351	1,9864		AP1	-495,2167	213,6870	-150,0000
FP2	2,8184	13,7137	1,9864		AP2	278,1428	438,3931	-150,0000
FP3	77,8424	13,7137	1,9864		AP3	621,2631	414,3351	-150,0000
FP4	83,7637	12,0035	1,9864		AP4	710,2944	206,0750	-150,0000
FS1	0,0000	-13,4351	1,9864		AS1	-495,2167	-213,6870	-150,0000
FS2	2,8184	-13,7137	1,9864		AS2	278,1428	-438,3931	-150,0000
FS3	77,8424	-13,7137	1,9864		AS3	584,3687	-472,7041	-150,0000
FS4	83,7637	-12,0035	1,9864		AS4	686,6282	-285,6822	-150,0000

## 8.5 Código em linguagem *Matlab* para otimização do sistema de ancoragem

```

% Script file: ancoragem.m
% Purpose: Otimizar sistema de ancoragem
%
% Record of revisions:
%   Date           Programmer      Description of change
%   ====          =====
%   26/11/18      Rodrigo              Original Code

tic

clear all
close all

global w0 Tmax_guincho Tmax_shank w QTFx QTFy QTFz Txm Smax

% carregar a janela operacional da análise qdi

load WB03

% carregar, para a posição C1, coordenadas dos seguintes pontos

load Panchor02 % pontos de ancoragem
load PFairl01  % pontos de fairlead

% importar QTF's para surge, sway e yaw

load QTF02

w = QTF(:, 1, 1);

QTFx = QTF(:, 2:end, 1);
QTFy = QTF(:, 2:end, 2);
QTFz = QTF(:, 2:end, 3);

clear QTF

% dados iniciais

w0 = 0.0370; % [kN/m] peso linear da linha de ancoragem
fs_guincho = 0.9; % fator de segurança guincho
Tmax_guincho = 147 * fs_guincho; % [kN] capacidade máxima do guincho;
fs_shank = 0.9; % fator de segurança shank
Tmax_shank = 14.7 * fs_shank; % [kN] capacidade máxima do shank

h = 150; % [m] profundidade do mar
BL = 1.9864; % [m] borda livre da barça

Smax = 1000; % [m] máximo comprimento da linha de ancoragem
Sy = h + BL; % [m] distância vertical constante percorrida pela linha de ancoragem

Txm = 25; % [kN] componente horizontal mínima da tração no fairlead
dx_max = 300; % [m] deslocamento máximo da barça na direção x
Td = -95.8523; % [kN] força horizontal resultante do duto na embarcação
yFL = 9.4921; % [m] coordenada y da firing line
LCG = 45.7376; % [m] LCG da embarcação

D = 0:30:330;
Dp = 0:30:360;
T = 2:13;
dx = -300:12:300; % posições da barça a serem estudadas

% Tr = zeros(size(Panchor, 1), size(wB, 1), size(wB, 2), length(dx));
Wd = zeros(size(wB, 1), size(wB, 2), length(dx));
janelax = zeros(size(dx));

Tfair = janelax;
Tanch = janelax;
Scabo = janelax;

```

```

wBp = zeros(size(wB, 1), size(wB, 2) + 1);

for i = 1:length(dx)

    Tf = zeros(length(T), length(D));
    Ta = Tf;
    Sm = Tf;

    Pa = Panchor;
    Pa(:, 1) = Pa(:, 1) - dx(i);

    % tração máxima para cada linha

    Trach_max = zeros(size(Pa, 1), 1); % matriz que contém as componentes máximas horizontais das
    trações nas linhas de ancoragem
    Trach_min = Trach_max; % matriz que contém as componentes mínimas horizontais das trações nas
    linhas de ancoragem
    Sh = zeros(size(Pa, 1), 1); % Sh é a extensão horizontal da linha de ancoragem

    newB = zeros(size(wB));

    for a = 1:size(Pa, 1)

        Sx = sqrt((Pa(a, 1) - PFairl(a, 1))^2 + (Pa(a, 2) - PFairl(a, 2))^2);

        Trach_max(a) = Txmax(Sx, Sy);
        Trach_min(a) = Txmin(Sx, Sy);

        Sh(a) = Sx;

    end

    dTh = sign(Pa - PFairl); % direção das componentes forças horizontais aplicadas pelas linhas
    de ancoragem
    cosTh = abs(Pa(:, 1) - PFairl(:, 1)) ./ Sh; % cos(theta), onde theta é o ângulo entre a linha
    de ancoragem e o eixo x
    sinTh = abs(Pa(:, 2) - PFairl(:, 2)) ./ Sh; % sin(theta), "

    for dire = 1:length(D)

        for peri = 1:length(T)

            check = -2;

            altu = wB(peri, dire):-0.01:0.01; % vetor de alturas significativas a ser testado,
            começando com a máxima
            as = 0;

            while check <= 0 && as < length(altu)

                as = as + 1;
                Hmax = altu(as);

                [FDM(1), FDM(2), FDM(3)] = fdm(dire, peri, Hmax);

                Fdmx = FDM(1); % Força de deriva média na direção x
                Fdmy = FDM(2); % Força de deriva média na direção y
                Mdmz = FDM(3) + Fdmy * LCG; % Momento de deriva média na direção z

                % solver

                max_Th = @(x) max(x(1:size(PFairl, 1))); % função que desejo minimizar

                x0 = 0.5 * (Trach_max + Trach_min); % solução inicial é o valor médio entre a
                trações máxima e mínima horizontais

                % restrições que determinam as componentes horizontais mínima e máxima de tração
                lb = Trach_min';
                ub = Trach_max';

```

```

% restrição que determina o equilíbrio de forças na direção x
Aeq1 = (dTh(:, 1) .* cosTh)';
beq1 = -(Fdmx + Td);

% restrição que determina o equilíbrio de forças na direção y
Aeq2 = (dTh(:, 2) .* sinTh)';
beq2 = -Fdmx;

% restrição que determina o equilíbrio de momentos na direção z
Aeq3 = (dTh(:, 1) .* cosTh .* -PFairl(:, 2))' + (dTh(:, 2) .* sinTh .* PFairl(:,
1))';
beq3 = -(Mdmz + Td*-yFL);

% junção das três restrições acima
Aeq = [Aeq1; Aeq2; Aeq3];
beq = [beq1; beq2; beq3];

% resolver a função objetivo

options = optimoptions('fmincon','Display','off', 'Algorithm', 'sqp');

options);
[x, fval, exitflag, output] = fmincon(max_Th, x0, [], [], Aeq, beq, lb, ub, [],

check = exitflag;

if check <=0 % mudar o algoritmo caso o resultado não convirja
    options = optimoptions('fmincon','Display','off', 'Algorithm', 'interior-
point');
    [x, fval, exitflag, output] = fmincon(max_Th, x0, [], [], Aeq, beq, lb, ub,
[], options);
    check = exitflag;
end
end
if check > 0
    newB(peri, dire) = Hmax;
%     Tr(:, peri, dire, i) = x;

[S, a0, S1] = Sanchor(x, Sh, Sy);

T0 = x ./ cos(a0);

Tan = T0 .* sin(a0);

Tly = Tan + w0 * S1;

T1 = sqrt(x.^2 + Tly.^2);

Tf(peri, dire) = max(T1); % máxima tração no fairlead (ou guincho)
Ta(peri, dire) = max(Tan); % máxima tração vertical na âncora
Sm(peri, dire) = max(S); % comprimento máximo de cabo

end
end

end

Wd(:, :, i) = newB;

wBp(:, 1:(end-1)) = newB;
wBp(:, end) = newB(:,1);

janelax(i) = trapz(T', trapz(Dp, wBp, 2));

```

```

Tfair(i) = max(Tf(:));
Tanch(i) = max(Ta(:));
Scabo(i) = max(Sm(:));

end

toc

```

### 8.5.1 Verificação dos resultados do Matlab no Orcaflex

É possível verificar o resultado fornecido pelo *Matlab* no *Orcaflex* da seguinte forma: comparando os resultados de forças e momento de deriva média e a deriva média produzida no *Orcaflex* para os comprimentos de linha determinados no *Matlab*. Para isso foram adotados dois casos para servirem de exemplo, apresentados na Tabela 20, ambos para um raio de *stinger* de 300' e tração de estática correspondente a um comprimento de duto de 988 m.

Tabela 20 – Casos utilizados para avaliação do código em *Matlab*

Caso	1	2
Tmin (kN)	5	25
x (m)	60	-30
Hs (m)	1,5	1
T (s)	4	5
D (m)	210	60
Smp1 (m)	656,24	537,99
Smp2 (m)	503,75	552,50
Smp3 (m)	654,60	732,40
Smp4 (m)	625,60	717,51
Sms1 (m)	656,24	531,45
Sms2 (m)	517,16	555,94
Sms3 (m)	706,37	729,31
Sms4 (m)	636,69	712,75

As configurações dos casos 1 e 2 foram inseridas no *Orcaflex* e avaliadas as respostas em *surge*, *sway* e *yaw*, como mostram as tabelas 21 e 22. Percebe-se destes resultados que os deslocamentos que a embarcação sofre no *Orcaflex* são devido às diferenças entre os resultados obtidos para os carregamentos de deriva média. Esta diferença nos cálculos não representa problema relevante para o trabalho.

Tabela 21 – Comparação *Matlab* x *Orcaflex* para o caso 1

Caso 1	Matlab	Orcaflex
Fdmx (kN)	-18,77	-19,67
Fdmy (kN)	-39,31	-41,62
Mdmz (kNm)	-1818,10	-1930,84
x (m)	0,00	-0,31
y (m)	0,00	-0,81
rz (°)	0,00	-0,28

Tabela 22 – Comparação *Matlab* x *Orcaflex* para o caso 2

Caso 2	Matlab	Orcaflex
Fdmx (kN)	4,25	4,35
Fdmy (kN)	37,04	37,47
Mdmz (kNm)	1518,20	1536,09
x (m)	0,00	-0,09
y (m)	0,00	0,79
rz (°)	0,00	0,27