ANÁLISE DA ESTRUTURA SUPORTE DO HELIPONTO DE UMA UNIDADE AUTO-ELEVATÓRIA

Higor Pereira de Oliveira

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA.

Professor Orientador: Peter Kaleff

Professor Co-orientador: Marta Cecilia Tapia Reyes

Aprovado por:

Prof. Peter Kaleff

Prof. Marta Cecilia Tapia Reyes

Prof. Severino Fonseca da Silva Neto

Eng. Alexandre Teixeira de Pinho Alho

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL Abril / 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Humberto Souza de Oliveira e Eliane Pereira de Azevedo, por todo o carinho e dedicação quanto a minha formação, incluindo os investimentos, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos irmãos Helton Pereira de Oliveira e João Paulo Rocha de Azevedo, por todo o apoio durante minha graduação.

Agradeço também a minha querida namorada Renata Manhães pelo apoio e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar ao curso, mesmo que para isso tivesse que deixá-la sozinha.

Um agradecimento especial aos professores Peter Kaleff, Marta Tapya, Alexandre Alho e Severino Neto pelo auxílio no desenvolvimento do projeto e pelos brilhantes conselhos dados na etapa de defesa.

O meu sincero obrigado a PROJEMAR estudos e projetos de engenharia, principalmente ao engenheiro Heitor Lima e a todos do departamento de estruturas, pela contribuição na minha formação profissional e na liberação dos documentos necessários para a realização do projeto.

Sumário

1.	INT	RODUÇÃO	.5
1.	.1.	Considerações Gerais	.5
1.	.2.	Estrutura Suporte	.6
1.	.3.	Objetivo do Projeto	.9
2.	MET	ODOLOGIA1	.0
2.	.1.	Critério de Escoamento1	0
2.	.2.	Critério De Estabilidade1	1
3.	MO	DELO ESTRUTURAL1	.5
3.	.1.	Geometria do Modelo1	.5
3.	.2.	Sistema de Referência1	8
3.	.3.	Material1	8
3.	.4.	Propriedades1	.9
3.	.5.	Chapas de Conexão2	20
3.	.6.	Condições de Contorno2	22
4.	CON	IDIÇÕES DE CARREGAMENTO2	23
4.	1.	Peso Morto2	23
4.	.2.	Carga Viva2	24
4.	3.	Carga de Vento2	25
4.	.4.	Cargas do Helicóptero2	27
4.	.5.	Combinação de Cargas3	:0
5.	ANÁ	LISE DE RESULTADOS	;1
5.	.1.	Análise dos Níveis de Tensão3	;1
5.	.2.	Análise da Estabilidade3	;2
6.	CON	ICLUSÕES4	6
7.	BIBL	IOGRAFIA4	17
Ane	xo I -	- Cargas de Vento4	18
Ane	xo II	– Cargas de Operação do Helicóptero5	52
Ane	xo III	– Sikorsky S925	68
Ane	xo IV	– Chapas de Conexão6	51
Ane	xo V	– Resultados de Tensão6	54

Índice de Figuras

Figura 1 - Unidade auto-elevatória de perfuração com heliponto em balanço	5
Figura 2 - Interface entre o heliponto e a estrutura de suportação	6
Figura 3 - Localização do heliponto	7
Figura 4 - Estrutura de suportação do heliponto - vista superior	7
Figura 5 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 3-E	8
Figura 6 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 3-G	8
Figura 7 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 7-D	8
Figura 8 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 7-E	9
Figura 9 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 7-G	9
Figura 10 - Viga sob tensão combinada	. 13
Figura 11 - Modelo estrutural vista global	. 15
Figura 12 - Modelo estrutural - Vista superior	. 16
Figura 13 - Modelo estrutural - seção 3-E	. 16
Figura 14 - Modelo estrutural - seção 3-G	. 16
Figura 15 - Modelo estrutural - seção 7-G	. 17
Figura 16 - Modelo estrutural - seção 7-E	. 17
Figura 17 - Modelo estrutural - seção 7-D	. 17
Figura 18 - Relação tensão x deformação de um material linear elástico	. 18
Figura 19 - Propriedade W200x46.1(H)	. 19
Figura 20 - Propriedade Tubo ø168.3x7.1	. 20
Figura 21 - Propriedade da massa do heliponto	. 20
Figura 22 - Chapas de conexão	. 20
Figura 23 - Grau de liberdade dos elementos nas conexões	. 21
Figura 24 - Condição de contorno	. 22
Figura 25 - Aceleração da gravidade	. 24
Figura 26 - Carga viva	. 25
Figura 27 - Ação do vento nos perfis	. 27
Figura 28 - Interface de contato entre o helicóptero e o heliponto	. 28
Figura 29 - Orientação do elemento de viga	. 32
Figura 30 - Checagem de flambagem da coluna na seção 3-G	. 34
Figura 31 - Vista deformada da viga - Momento no plano 2	. 35
Figura 32 - Vista deformada da viga - Momento no plano 1	. 36
Figura 33 - Vista deformada – Força axial	. 37

1. INTRODUÇÃO

Desde que a exploração de óleo e gás começou a crescer em todo o mundo, a indústria *offshore* tem sido dependente do uso eficiente e seguro de helicópteros para apoio logístico e de emergência. O papel principal é o deslocamento de pessoas de e para seus locais de trabalho em instalações *offshore*. Outros papéis incluem o movimento de carga, evacuação de emergência e busca e salvamento.

O ambiente operacional severo, alguns acidentes graves e fatais e o surgimento de regulamentos específicos para homologação de helipontos *offshore*, têm contribuído para uma maior consciência dos problemas associados com helicópteros operando em um ambiente marinho.

No entanto, essa maior conscientização de problemas de funcionamento e operação nem sempre tem sido acompanhada por uma compreensão completa e clara dos requisitos da relação entre a aviação e as operações de produção e processamento de óleo e gás.

É vital que os requisitos técnicos para operações com helicópteros sejam devidamente identificados durante o projeto conceitual de uma instalação e sejam integralmente considerados em todas as fases subseqüentes do projeto detalhado até a fabricação, construção, instalação e comissionamento, operação e qualquer alteração posterior.

1.1. Considerações Gerais

A unidade em questão é uma plataforma de perfuração do tipo auto-elevatória que virá a operar na Bacia de Santos, Rio de Janeiro, Brasil. O heliponto será posicionado acima do módulo de acomodações da unidade, apoiado em uma estrutura de suportação que é o alvo deste estudo.



Figura 1 - Unidade auto-elevatória de perfuração com heliponto em balanço

O heliponto será projetado para receber um helicóptero modelo Sikorsky S-92 sem que haja interferência entre as operações do helicóptero e da plataforma.

1.2. Estrutura Suporte

A estrutura do heliponto será feita em alumínio, sendo reforçada longitudinalmente por perfilados laminados de alumínio. Ela será apoiada sobre uma estrutura em formato de octógono, reforçada transversalmente por vigas com perfil H, também em alumínio.

O contato entre a estrutura suporte e o heliponto será feito pontualmente. As vigas transversais do heliponto (perfil H) se apoiarão nas vigas da estrutura de suportação (também um perfil H) em 25 pontos de contato. A interface entre o heliponto e a estrutura suporte é esquematizada na figura abaixo:



A estrutura do heliponto não faz parte do estudo, mas torna-se importante identificá-la para melhor entender como será feita a transferência de cargas entre o heliponto e sua estrutura de suportação.

O heliponto será posicionado acima do módulo de acomodações da unidade de perfuração, a uma distância de 57,80 metros do nível do mar quando a plataforma estiver elevada. Na figura a seguir é possível identificar a localização do heliponto na plataforma.



Figura 3 - Localização do heliponto

A estrutura de suportação do heliponto é uma estrutura típica para esses fins. Ela é constituída basicamente por uma estrutura em vigas de perfil H em formato de octógono suportada por seis colunas e reforçada por contraventamentos em formato cilíndrico. As figuras a seguir apresentam a estrutura de suportação:



Figura 4 - Estrutura de suportação do heliponto - vista superior



Figura 5 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 3-E





Figura 6 - Estrutura de suportação do heliponto - seção 3-G



Figura 7 - Estrutura de suportação do heliponto – seção 7-D





Figura 8 - Estrutura de suportação do heliponto - seção 7-E



Figura 9 - Estrutura de suportação do heliponto - seção 7-G

1.3. Objetivo do Projeto

O objetivo do projeto é verificar se os níveis de tensão impostos pelas cargas ambientais e de operação dos helicópteros e a resistência à flambagem das vigas da estrutura suporte do heliponto satisfazem aos requisitos das regras e regulamentos pertinentes. Espera-se chegar a uma configuração estrutural que esteja de acordo com esses critérios.

2. METODOLOGIA

Para a análise estrutural, inicialmente foram analisados os regulamentos e regras e pertinentes a análise de estruturas suporte de helipontos localizados sobre unidades *offshore*. Em seguida foi modelada, por meio de elementos finitos, a estrutura de suportação proposta. As cargas ambientais e de operação dos helicópteros foram definidas a partir do estabelecido nas normas pertinentes. Em um estágio final, os resultados obtidos na forma de tensões de flexão e cargas compressivas, foram confrontados com os limites impostos pelas normas pertinentes.

Os possíveis modos de falha identificados para a estrutura em estudo foram as falhas por escoamento do material, quando a tensão instalada ultrapassa a tensão limite de escoamento, e por flambagem, quando as vigas deformam excessivamente.

2.1. Critério de Escoamento

A análise do nível de tensão nas vigas da estrutura foi feita de acordo com os critérios propostos na referência [2] (DNV-OS-C201).

De acordo com a referência supracitada, cada membro estrutural deve ser projetado para a condição de carregamento mais desfavorável descritas na tabela abaixo:

Caso	Descrição
a)	Cargas funcionais
b)	Máxima combinação entre cargas funcionais e cargas ambientais
c)	Cargas acidentais associadas a cargas funcionais

Tabela 1 - Condições de carregamento

Para cada condição de carregamento da tabela acima, a análise estrutural deverá ser feita levando em consideração todas as combinações de cargas possíveis. Todas as direções de vento combinadas com todas as possíveis cargas operacionais do helicóptero deverão ser consideradas.

Na metodologia utilizada para análise dos níveis de tensão, o critério de aceitação é atingido por comparação entre as tensões calculadas para diferentes condições de carregamento com a tensão máxima permissível definida pela multiplicação do fator de utilização permissível (η_P) com um coeficiente (β) que depende do tipo de estrutura e será discutido mais adiante.

Os fatores de utilização permissíveis são uma função das condições de carregamento, modo de falha e grau de importância do membro estrutural analisado. Eles são calculados pela seguinte equação:

$\eta_P=\beta.\,\eta_0$

Onde η_0 é o fator de utilização básico, eles são definidos em função das condições de carregamento apresentadas na tabela 1, conforme pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 2	- Fator	de utili	zação	básico
----------	---------	----------	-------	--------

Fator	Condição de Carregamento				
гасог	a)	b)	c)		
η_0	0.60	0.80	1.00		

O coeficiente β está relacionado com a estabilidade estrutural do membro que está sendo analisado. A recomendação da referência [2] é que, se o membro sob análise for uma viga, se utilize sempre o fator $\beta = 1$.

2.2. Critério De Estabilidade

A análise da estabilidade estrutural das vigas será feita de acordo com os critérios propostos na referência [5].

Segundo a referência citada acima, a resistência a flambagem de membros estruturais sujeitos a ação combinada de compressão axial e tensão devido a flexão devem satisfazer os seguintes requerimentos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \le 1.0 \quad (euqação H1 - 1)$$
$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \quad (euqação H1 - 2)$$

Quando $f_a/F_a \leq 0.15$ a equação H1-3 é utilizada em vez da equação H1-1.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \quad (euqação H1 - 3)$$

Para membros submetidos a tração axial e momento fletor, a estabilidade da estrutura deve ser avaliada pelo seguinte critério:

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \le 1.0 \quad (euqação H2 - 1)$$

Nas equações H1-1, H1-2, H1-3 e H2-1, as subscritas x e y indicam o eixo sobre o qual o momento está atuando.

 f_a : tensão axial calculada (tração ou compressão), em ksi;

 f_b : tensão de flexão calculada, em ksi;

 F_a : tensão de compressão axial que seria permitida se somente a força axial agisse sozinha, em [ksi];

 F_b : tensão de flexão de compressão que seria permitida se somente o momento fletor agisse sozinho, em [ksi];

$$F_t = 0.6F_v;$$

 F_v é a tensão limite de escoamento do material;

 F'_e : tensão de Euler dividida por um fator de segurança, em ksi. Na expressão acima, l_b é o vão livre da viga no plano de flexão e r_b é o raio de giração correspondente. O fator k é o fator de comprimento efetivo no plano de flexão.

$$F'_{e} = \frac{12\pi^{2}E}{23(kl_{b}/r_{b})^{2}};$$

O raio de giração pode ser estimado pela seguinte equação:

$$r_b = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Onde I é a inércia no plano de giro da viga e A é sua área transversal.

Embora a estabilidade da estrutura deva ser vista como um todo, incluindo não só as colunas, mas também as vigas, contraventamentos e conexões, um método de se analisá-la é considerar a estabilidade de diferentes tipos de membros considerados como elementos individuais, e então considerar os efeitos dos membros individuais na estabilidade da estrutura como um todo.

O conceito comprimento de flambagem efetivo é um método para estimar os efeitos da interação da estrutura completa em uma coluna a ser considerada. Este conceito utiliza o fator k para equivaler a resistência de um elemento de comprimento *lb* sob compressão para com a de um elemento de comprimento *k*. *lb* ensaiado nas seguintes condições:

Buckled shape of column is shown by dashed line		(b)		(j) +	(e)	
Theoretical K value	0.5	07	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal condi- tions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	*** ***	Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				

Tabela 3 - Fator de comprimento de flambagem

A manutenção de uma carga axial compressiva (F), em um membro que já esteja sob flexão e possua um deslocamento no plano de curvatura (x), gera um momento secundário igual ao produto resultante da excentricidade e da carga axial aplicada, o que não se reflete na tensão f_b .



Figura 10 - Viga sob tensão combinada

Para computar este momento adicional no projeto dos membros sujeitos a tensões axiais combinadas e flexão, a Equação (H1-1) requer que f_b seja amplificada por um fator:

$$\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)$$

Dependendo da forma do diagrama de momento aplicado no membro em questão, este fator pode superestimar a magnitude do momento secundário. Para contornar esse problema, o fator de amplificação é modificado por um fator de redução C_m .

Como a combinação de tensão de compressão com tensão de flexão é mais afetada pelo fator de amplificação do que pelo fator de redução, o valor de 0.85 pode ser adotado para C_m .

A máxima tensão permitida (F_a) para membros sob compressão axial, que tenham a razão de esbeltez (kl/r) inferior a C_c é:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(kl/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8C_c} - \frac{(kl/r)^3}{8C_c^3}}$$

Onde:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

Quando kl/r é superior a C_c , a tensão permissível é:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(kl/r)^2}$$

A máxima tensão permitida (F_b) para membros submetidos a momentos fletores é determinada em função do plano de atuação do momento e das características de seção da viga. Esse critério muda se o perfil em questão for considerado compacto ou não.

Os critérios que definem se a seção é compacta é apresentado a seguir:

Tabela 4 - Limites para vigas compactas

Elemente	Bazão	Limite		
Elemento	Razau	Compacto	Não Compacto	
Flanges de perfil I de vigas extrudadas	b/t	$65/\sqrt{Fy}$	$95/\sqrt{Fy}$	
Vigas de seção circular	D/t	3300/Fy	—	

Na tabela acima o parâmetro b equivale a meia largura do flange de um perfil I (b_f). Os perfis utilizados na estrutura suporte do heliponto são apresentados na tabela a seguir:

Perfil	Seção	b/tf ou D/t	Fy [ksi]	Compacto	Não Compacto	Critério
W 200x46.1 (H)	$\xrightarrow{b_{f}} d$	9.23	51.49	9.02	13.20	Não Compacto
Tubo ø168.3x7.1		23.71	51.49	63.58	_	Compacto

Tabela 5 - Classificação das vigas da estrutura

Tendo em vista a caracterização dos perfis utilizados, foram definidas as tensões permissíveis F_b para cada condição.

Para membros com seção I não compacta, a tensão F_b , quando o momento fletor atua no eixo forte do perfil é calculada pela seguinte expressão:

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right]$$

Entende-se por eixo forte da seção, o eixo do plano de maior momento de inércia. Já o eixo fraco é o eixo do plano de menor momento de inércia.

Para membros com seção I não compacta, a tensão F_b , quando o momento fletor atua no eixo fraco do perfil é calculada pela seguinte expressão:

$$F_{b} = 0.60F_{y}$$

Para membros com seção circular compacta, a tensão F_b é calculada pela seguinte expressão:

$$F_{b} = 0.66F_{v}$$

Neste caso, devido a simetria da seção, não se distingue o eixo forte do fraco sendo o critério acima aplicado de forma independente do plano de atuação do momento fletor.

3. MODELO ESTRUTURAL

Para analisar o comportamento estrutural da estrutura em resposta aos carregamentos solicitados foi feito um modelo em elementos finitos, que é descrito neste capítulo.

3.1. Geometria do Modelo

Para melhor representar as tensões instaladas na estrutura devido à operação dos helicópteros e a ação das cargas ambientais, foram utilizados elementos de viga do tipo CBEAM para modelar a estrutura de suportação e elementos de massa do tipo CONM para modelar a estrutura do heliponto.

Os elementos do tipo CBEAM são elementos unidimensionais, as propriedades atribuídas a ele são a capacidade de torção, tração, compressão, flexão em dois planos perpendiculares e a resistência ao cisalhamento. Já os elementos do tipo CONM são usados para definir uma massa concentrada em um ponto.

As massas concentradas foram modeladas nos pontos de contato entre o heliponto e a estrutura de suportação. A massa do heliponto é de 23,6 toneladas e foi igualmente distribuída nos 25 pontos de contato.

Massa do heliponto $=\frac{23,6}{25}=0,944$ toneladas por ponto de contato



As figuras abaixo ilustram o modelo da estrutura de suportação do heliponto:

Figura 11 - Modelo estrutural vista global



Figura 12 - Modelo estrutural - Vista superior



Figura 13 - Modelo estrutural - seção 3-E



Figura 14 - Modelo estrutural - seção 3-G



Figura 15 - Modelo estrutural - seção 7-G



Figura 16 - Modelo estrutural - seção 7-E



Figura 17 - Modelo estrutural - seção 7-D

3.2. Sistema de Referência

Como a plataforma não se trata de um navio, não é usada a nomenclatura usual para esses casos. Como por exemplo: vante, ré, bombordo e boreste. Sendo assim, foi importante definir um sistema de coordenadas que permitisse uma melhor identificação da estrutura. O sistema adotado é apresentado a seguir:

Eixo	Direção	Sentido
Х	Longitudinal	do oeste para o leste
Y	Transversal	do sul para o norte
Z	Vertical	do nível do mar ao heliponto

Tabela 6 - Sistema de coordenadas

O sistema de unidades adotado na modelação da estrutura faz parte do sistema internacional de unidades (SI), e é apresentado na tabela a seguir.

Grandeza	Unidade	Símbolo	
Força	Newton	N	
Comprimento	Milímetro	mm	
Тетро	Segundo	S	
Massa	Tonelada	t	

Tabela 7 - Sistema de unidades

3.3. Material

As vigas da estrutura suporte são de aço especial com a tensão limite de escoamento de 355 *MPa*. Esse material é classificado como aço NV A36 pela DN, na referência [4]. Na modelagem do material da viga, foi considerado que o mesmo tem comportamento linear elástico e possui propriedades isotrópicas.

Um material com comportamento linear elástico é aquele que, quando submetido a um carregamento, apresenta uma relação linear entre tensão e deformação. Com respeito às deformações, podemos dizer que elas não são permanentes, ou seja, uma vez removida a carga, o material retorna ao seu estado original.



Figura 18 - Relação tensão x deformação de um material linear elástico

Dizer que o material tem propriedades isotrópicas significa dizer que ele tem as mesmas características em todas as direções ou, expresso de outra maneira, material com características simétricas em relação a um plano de orientação arbitrária.

A tabela a seguir apresenta as propriedades do material modelado:

Propriedade	Símbolo	Valor	Unidade
Módulo de Elasticidade	Ε	206000	N/mm^2
Densidade	ρ	7.85E-9	t/mm ³
Coeficiente de Poisson	ν	0.3	—

Tabela 8 - Propriedades do material modelado

3.4. Propriedades

As propriedades utilizadas foram modeladas de acordo com a geometria do perfil das vigas adotadas na estrutura. Ela é constituída de dos tipos de perfis, o perfil W200x46.1(H) para as vigas e o perfil cilíndrico de 168.3 milímetros de diâmetro para os contraventamentos.

Tabela 9 - Propriedades do modelo

		Tensão de		
		Escoamento	Inércia	Área
	Material	[N/mm²]	[mm4]	[mm2]
W 200x46.1 (H)	NV A36	355.0	44761533.0	5769.2
Tubo ø168.3x7.1	NV A36	355.0	11701864.0	3595.3

As figuras a seguir ilustram as propriedades modeladas:



Figura 19 - Propriedade W200x46.1(H)

2	8.3x7.1		Material 2.A	STM A 714	- 🕹		Shape Circular Tube
Color 110	Palette	Layer 1		Elem/Pro	perty Type	2	Size
Property Values			Stress Be	covery (2 to	4 Blank=Square)		Nacua [84.15
Tapered Beam	EndA	End B		~	7		
Area, A	3595.616	0.	End & 1	0	.94.15		
Moment of Igertia, 11 or Izz	11701864.	0.	2	84.15	0	1 d	Thickness 7.1
I2 or lyy	11701864.	0.	2	0	84.15		
I12 or Izy	0.	0.		.94 15	0		Stess Hecovery
Torsional Constant, J	23399028	0.		-04.15	u.		
Y Shear Area	1913.771	0.	End B 1	0.	0.	The second secon	
Z Shear Area	1913.771	0.	2	0.	0.		Preference Pont S
Nonstruct mass/length	0.	0.	3	0.	0.		Chentason Deection (y)
Warping Constant	0.	0.	4	0.	0.	Change Shape	O Let @ Rig
Perimeter	528.73	0.				Compute Shear Center Offset Draw Sector	Down
Y Ngutral Axis Offset	0.	0.		Shap	e	Contras a stard county	OK. Cancel
Z Negtral Axis Offset	0.	0.		Shape E	nd B	L	
		-					

Figura 20 - Propriedade Tubo ø168.3x7.1

Também foi modelada a propriedade de massa, utilizadas pelos elementos de massa que representam a estrutura de heliponto.

D 3 I) <u>C</u> ol	le Massa de or 16	o Heliponto Palette	Lay	ver 1	<u>M</u> at	erial	د العالي الع Elem/Property Type
Coordinate S	ystem for O <u>f</u> f	set and Inertia	3	0Basic Re	ectangula	ı .	•
Property Values						-	Load
Mass, MorMx	0.944	Inertia,	lxx	0.	lxy	0.	
My (blank=Mx)	0.944		lyy	0.	lyz	0.	<u>S</u> ave
Mz (blank=Mx)	0.944		Izz	0.	lzx	0.	Сору
Offset from <u>N</u> ode							
× 0.		Υ 0.		Z 0.			
Heat Transfer Prop	erties	Effect	tive	Diameter 0.			

Figura 21 - Propriedade da massa do heliponto

3.5. Chapas de Conexão

As conexões entre as vigas de perfil H e os tubos da estrutura de suportação do heliponto são feitas por chapas de conexão (Chapas *Gusset*). É entendido que essas placas não apresentam rigidez fora do plano da placa, não resistindo assim a momentos fletores fora do plano.



Na modelagem da malha de elementos finitos no FEMAP, por padrão todos os graus de liberdade entre os elementos são automaticamente conectados. Caso você identifique que um elemento não é estruturalmente ligado a todos os seis graus de liberdade nos nós de cada extremidade, você pode especificar os graus de liberdade que você queira liberar.

Feita essas ponderações, como as chapas de conexão não foram modeladas, a rotação fora do plano onde as placas de localizariam, dos nós dos elementos de viga de perfil tubular, localizados na extremidade onde se tem a conexão dos tubos com os perfis H, precisam ser liberadas. Isso foi feito através do comando *release* do FEMAP.



Figura 23 - Grau de liberdade dos elementos nas conexões

A figura acima apresenta um exemplo desse procedimento. O número 6 em cima do nó onde os elementos do tubo chegam nos elementos da viga representa o grau de liberdade que foi liberado. Para o NASTRAN, os graus de 1 a 6 representam respectivamente as translações e rotações em x,y e z. O vetor em azul na figura 23 é o eixo y de cada elemento. Isso significa que a rotação mo eixo z nos nós dos elementos de tubo que estão conectados a viga foram liberados, ou seja, a rotação fora do plano da chapa de conexão foi liberada.

As figuras no Anexo IV ilustram os graus de liberdade liberados nas conexões.

3.6. Condições de Contorno

A estrutura de suportação conecta o heliponto com a estrutura da plataforma. Ela precisa ser projetada para transmitir todas as cargas de operação do helicóptero, de peso próprio e ambientais do heliponto para a estrutura da unidade.

A conexão entre a estrutura suporte e o módulo de acomodações será assumida como rígida suficiente para considerar a estrutura suporte engastada nas colunas do módulo. A figura a seguir ilustra as condições de contorno aplicadas no modelo.



Figura 24 - Condição de contorno

4. CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

Durante a fase de projeto da estrutura de suportação, o projetista deve assegurar que todos os casos de carregamento possíveis serão identificados e testados, e que as piores condições encontradas sejam utilizadas para o dimensionamento da estrutura.

As condições de carregamento foram definidas a partir das regras da DNV, referências [2] e [6], das Normas da Autoridade Marítima Brasileira – NORMAM, referência [7], e do Instituto Americano de Petróleo – API, referência [8].

Cada regra citada acima recomenda um conjunto particular de combinações de carregamento a ser considerado no projeto. Adotando uma medida conservadora, para cada carregamento identificado, foi adotada a exigência mais rigorosa entre as regras.

As condições de carregamento identificadas foram:

• Condição Estática

Nesta condição, são consideradas o peso próprio do heliponto e do helicóptero e a carga viva.

• Condição de Operação de Projeto (DOC)

Nesta condição, são consideradas o peso próprio do heliponto, a carga de vento de 1 ano e as cargas de pouso normal do helicóptero.

• Condição Ambiental Extrema (DEC)

Nesta condição, são consideradas o peso próprio do heliponto e do helicóptero e a carga de vento de 100 anos.

• Condição de Operação de Emergência

Nesta condição, são consideradas o peso próprio do heliponto, a carga de vento de 1 ano e as cargas de pouso de emergência do helicóptero.

As cargas identificadas na etapa de projeto, as quais iriam atuar na estrutura do heliponto são descritas abaixo:

- Peso morto
- Carga viva
- Carga de vento
- Cargas do helicóptero

4.1. Peso Morto

No projeto da estrutura de suportação devem ser consideradas a aceleração da gravidade e as forças inerciais devido ao movimento da unidade. Como se trata de uma unidade em que o helicóptero só irá operar quando ela estiver elevada, pode-se dizer que nestas condições as acelerações sofridas pela plataforma são nulas. Sendo assim somente o peso próprio do heliponto e da estrutura suporte serão computados.

A valor considerado para a aceleração da gravidade foi de $9807mm/s^2$.

Ax 0. 0None fay Arx 0. 0None Ay 0. 0None fay Ary 0. 0None Az 9807. 0None fay Arz 0. 0None	- f _{xy}
Ay 0. 0None ▼ fxy Ary 0. 0None Az 9807. 0None ▼ fxy Arz 0. 0None	
Az 9807. 0None - fxy Arz 0. 0None	▼ ¹ xj
	- 5 0
Active Time/Freq Dependence Specify or Pick Local VX 0. 0.None	tion
Wx 0. 0.None 🔹 f _{xy} X 0.	
Wy 0 0None f _{xy} Y 0.	
Wz 0. 0None f_{xy} Z 0.	

Figura 25 - Aceleração da gravidade

4.2. Carga Viva

Bem como o peso próprio da estrutura, o heliponto deve ser projetado para suportar cargas impostas no convés devido ao fluxo de pessoas, operação de reabastecimento, movimentação de equipamentos, provisórios e outros.

Segundo a referência [8], no capítulo 5, a carga viva deve ser aplicada como uma pressão (P_{CV}) equivalente a $2kN/m^2$ uniformemente distribuída em toda a área do heliponto.

Para aplicar essa carga no modelo multiplicou-se a pressão pela área do heliponto (A_H) , calculada através do desenho do heliponto [9], para se obter a força total a ser aplicada. Em seguida essa força foi igualmente distribuída nos 25 pontos de apoio entre o heliponto a estrutura de suportação.

$$P_{CV} = 2kN/m^{2}$$

$$A_{H} = 361.87m^{2}$$

$$F_{CV} = \frac{P_{CV}xA_{H}}{25}$$

$$F_{CV} = \frac{2[kN/m^{2}]x361.87[m^{2}]}{25} = 28.949kN$$

$$F_{CV} = 28949N$$



Figura 26 - Carga viva

4.3. Carga de Vento

As instalações do heliponto devem permitir a operação do helicóptero em qualquer condição meteorológica que permita a operação do helicóptero. Sendo assim, faz-se necessário estudar os efeitos da carga de vento agindo sobre a estrutura suporte do heliponto.

A definição das cargas e do perfil de vento será feita de acordo com a referência [9]. Em localizações *offshore*, o perfil de vento de *Frøya* é o mais indicado por ser considerado o melhor perfil de vento para esse tipo de região.

O modelo de *Frøya* implica que a expressão apresentada a seguir pode ser usada para a conversão do vento de referência com período (T_o) de uma hora e com velocidade U_0 a uma altura H acima do nível do mar, para um vento com velocidade U com período médio T a uma altura z acima do nível do mar.

$$U_{(T,z)} = U_0 \left\{ 1 + C . \ln \frac{z}{H} \right\} \cdot \left\{ 1 - 0.41 . I_U(z) . \ln \frac{T}{T_o} \right\}$$

Onde H = 10m, $T_o = 1h$ ou 3600*s* e onde:

$$C = 5.73. \, 10^{-2} . \sqrt{1 + 0.148U_0}$$
$$I_U = 0.06. \, (1 + 0.043U_0) . \left(\frac{z}{H}\right)^{-0.22}$$

De acordo com a referência [6], as cargas de vento devem ser calculadas para um vento com período médio T de 3 segundos.

O vento de referência adotado para a nálise é apresentado na tabela a seguir. A sigla 'WS,1hr@10m(m/s)' indica a velocidade do vento de referência, em metros por segundo, com período de retorno de uma hora a uma altura de 10 metros acima do nível do mar.

Tabela	10 -	Vento	de	referência
--------	-------------	-------	----	------------

Omni Directional	HS(m)	TP(s)	WS,1hr@10m(m/s)	VC,Surf(m/s)
1-year	4.8	11.08	15.70	1.00
10-years	6.6	13.15	19.63	1.25
100-years	8.3	14.86	23.26	1.51
1000-years	9.9	16.39	26.87	1.70

Como explicado no início deste capítulo, só serão estudados casos de carregamento com ventos de 1 e 100 anos.

A altura máxima do heliponto em relação ao nível do mar é de 57.8 metros. Essa altura será utilizada como referência para o cálculo da ação do vento em todas as vigas da estrutura de suportação.

A velocidade do vento, com período T, a uma altura z acima do nível do mar, calculado pelo perfil de *Frøya* e baseado no vento de referência com velocidade U_0 , período T_0 e altura H, é apresentada a tabela abaixo:

Caso	<i>U</i> ₀ [<i>m</i>]	/s]	H[m]	$T_0[s]$	z [m]	T [s]	С	I_U	$U_{(T,z)}\left[m/s\right]$
DOC	1 ano	1 ano 15.70		3600	57.8	3	0.10	0.07	22.27
DEC	100 anos	23.26	10.0	3600	57.8	3	0.12	0.08	34.87

Segundo a referência [9], a pressão básica do vento (q) é dada pela equação de Bernoulli:

$$q = \frac{1}{2} \rho_a U_{(T,z)}{}^2 \left[N/m^2 \right]$$

Onde a densidade do ar é dada por $1.226 kg/m^3$.

Para aplicar essa carga no modelo, decidiu-se linearizá-la em função do comprimento de cada membro estrutural, já que as vigas foram modeladas como elementos unidimensionais, para assim poder aplicá-la como um carregamento distribuído. A distribuição de força de vento (F_V) ao longo do comprimento de um membro estrutural, agindo no sentido normal a superfície é calculada pela seguinte equação:

$$F_V = C.q.d \left[N/m \right]$$

Onde:

C: coeficiente de chapa;

d: altura do membro estrutural, ortogonal ao comprimento.



Figura 27 - Ação do vento nos perfis

A tabela a seguir resume as cargas de vento calculadas para cada perfil de viga e para cada condição de vento, já convertidas para o sistema de unidades adotado.

		$F_V [N/mm]$			
Seção	d [mm]	С	DOC	DEC	
W 200x46.1 (H)	203.0	1.6	0.099	0.242	
Tubo ø 168.3x7.1	168.3	0.5	0.026	0.063	

Tabela 11 - Resumo das cargas de vento

Os coeficientes de chapa dos perfis utilizados na estrutura foram retirados da referência [9]. Independente do ângulo de incidência do vento em relação ao perfil, que irá variar, optou-se pelo conservadorismo e foi escolhido a maior valor de *C* para cada perfil.

Pressupõem-se que o vento posse incidir sobre a estrutura sobre um plano paralelo ao nível do mar com qualquer algulação, de 0 a 360°. Sendo assim, para melhor avaliar as interações entre as diferentes posições em que o helicóptero pode aterrisar e as cargas ambientais, as cargas de vento foram aplicadas rodeando a entrura em 360° com passo de 90°. Ou seja, incidindo em +X, +Y, -X e –Y. As imagens com as cargas de vento aplicadas são apresentadas no anexo I.

4.4. Cargas do Helicóptero

É importante que o projetista conheça os parâmetros como dimensões principais, peso e área de contato com o solo de todos os helicópteros que possam vir a operar no heliponto para garantir que ele permanecerá adequado para uso futuro.

Pensando nisso, o heliponto será projetado para receber o mais pesado helicóptero identificado. É o modelo S92 da fabricante *Sikorsky*. Os dados dessa aeronave foram obtidos através da referência [1] e sua ficha técnica é apresentada no Anexo I.

A estrutura de suporte, junto com o heliponto, deve ser projetada para suportar todo o tipo de operação do helicóptero possível que, quando combinada com outras cargas, gere o cenário mais desfavorável para a estrutura. Pensando nisso, serão calculadas as cargas devido ao helicóptero aterrissado no heliponto, e devido a sua aterrissagem normal e de emergência.

As cargas do helicóptero foram calculadas de acordo com as referências [7] e [10]. Elas serão transferidas ao heliponto através da área de contato do trem de aterrissagem, que é mostrado na figura a seguir:

UNDERCARRIAGE FOOTPRINT - LOADS FOR PLANNED AIRCRAFT GROWTH (Not to Scale)



Figura 28 - Interface de contato entre o helicóptero e o heliponto

A carga no modelo será aplicada como uma força concentrada nos três pontos de apoio do helicóptero mostrado na figura acima.

Segundo a referência [10], em todos os casos a carga do helicóptero deve ser considerada como distribuída nos pontos de contato do trem de pouso na mesma proporção que é quando a aeronave está estática em uma superfície horizontal.

Através da carga estática por trem de aterrissagem mostrada na figura 25, é possível checar que 34% da carga ficam concentradas na roda do nariz.

Carga na roda do nariz na condição estática = 4592 Kg

Carga nas rodas principais na condição estática = 2.4453 Kg = 8906Kg

Concentração na roda do nariz
$$=$$
 $\frac{4592}{(4592 + 8906)} = 34\%$

O restante fica distribuído nas duas rodas principais traseira, 33% em cada. A massa do helicóptero S92 que será utilizada nos cálculos será a máxima massa de decolagem (*MTOW*) que equivale a 12837 kg.

• Carga devido ao helicóptero aterrissado

A carga a ser transferida a estrutura de suportação do heliponto devido ao helicóptero aterrissado no heliponto consiste no peso próprio da aeronave, já que a unidade não sofre acelerações significativas quando elevada. Ela pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$F_{H AT} = g.MTOW = 125892 N$$

Onde g é a aceleração da gravidade. Essa carga será dividida entre os pontos de contato do trem de aterrissagem da seguinte maneira:

Roda do Nariz: $F_{H RN} = F_{H AT}$. 34% = 42804 N

Roda do Principal (individual): $F_{H_{RP}} = F_{H_{AT}}$. 33% = 41545 N

• Carga devido a aterrissagem normal

Segundo a referência [10], para simular o impacto do helicóptero no heliponto, a força total do helicóptero durante a aterrissagem deve ser calculada levando em conta um fator de amplificação igual a 2.

$$F_{H_{AN}} = 2. g. MTOW = 251785 N$$

Essa carga será dividida entre os pontos de contato do trem de aterrissagem da seguinte maneira:

Roda do Nariz: $F_{H RN} = F_{H AN}$. 34% = 85607 N

Roda do Principal (individual): $F_{H RP} = F_{H AN}$. 33% = 83089 N

• Carga devido a aterrissagem de emergência

Segundo a referência [7], para simular o impacto do helicóptero no heliponto em casos de aterrissagem de emergência, onde o piloto não tem total controle sobre a aeronave, a força total deve ser calculada levando em conta um fator de amplificação igual a 2.5.

$$F_{H AM} = 2.5. g. MTOW = 314731 N$$

Essa carga será dividida entre os pontos de contato do trem de aterrissagem da seguinte maneira:

Roda do Nariz: $F_{H_{RN}} = F_{H_{AM}}$. 34% = 107010 N

Roda do Principal (individual): $F_{H RM} = F_{H AN}$. 33% = 103860 N

As cargas do helicóptero foram aplicadas de acordo com as possíveis operações do heliponto.

Chegou-se a conclusão em que as circunstâncias em que ele ficaria parado sobre o heliponto seriam nas condições estáticas e ambientais extremas (DEC). É entendido que em condições ambientais extremas, com ventos centenários, o helicóptero não irá operar, ficando no máximo estivado no heliponto.

Para as condições de aterrissagem normal, é entendido que o helicóptero só irá aterrissar dentro da área de aproximação final e decolagem (AAFD), que é definida na referência [7] como sendo a área na qual a fase final da manobra de aproximação para vôo pairado ou pouso é completada e na qual a manobra de decolagem é iniciada.

Já nas condições de aterrissagem de emergência, é pressuposto que o piloto não terá total controle da aeronave. Sendo assim, será considerado que o helicóptero poderá cair em qualquer região do heliponto.

As figuras do modelo com a região em que foram aplicadas as cargas de operação do helicóptero são apresentadas no Anexo II.

4.5. Combinação de Cargas

Tendo em vista que o heliponto deve ser projetado para a pior das circunstâncias, todas as direções de vento foram combinadas com todas as possíveis cargas operacionais do helicóptero criando assim, 53 condições de carregamento possíveis a serem analisadas.



Tabela 12 - Casos de carregamento

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Com base nos critérios de avaliação dos modos de falha da estrutura, a partir da simulação através do modelo em elementos finitos, foi possível analisar o comportamento estrutural do suporte do heliponto.

5.1. Análise dos Níveis de Tensão

A partir dos casos de carregamento que a estrutura de suportação estará submetida, identificados no item 4, e dos critérios sugeridos pela referência [2], foi possível identificar os fatores de utilização permissíveis:

Caso de Carregamento	Classificação	β	η_0	η_P
Estático	a)	1.00	0.60	0.60
DOC	a)	1.00	0.60	0.60
DEC	b)	1.00	0.80	0.80
Emergência	c)	1.00	1.00	1.00

Tabela 13 - Fatores de utilização permissíveis

Os resultados foram para cada uma das 53 combinações de carregamento foram divididos em envelopes de acordo com cada condição de carregamento. Os resultados são apresentados divididos em grupos de acordo com cada tipo de viga utilizada no modelo.

A tensão instalada nas vigas utilizada para fazer a comparação com a tensão limite permitida foi a máxima tensão combinada, que leva em consideração a combinação das tensões axiais e de flexão instaladas nas vigas devido ao carregamento.

Na tabela abaixo, a máxima tensão combinada instalada (σ_{inst}) é comparada com a tensão permitida (σ_y) através do fator de utilização (FU), este valor tem que obrigatoriamente respeitar os limites indicados na tabela 13.

Caso de	Perfi	ΙH	EU	Perfil Tu	ubular	EU
Carregamento	$\sigma_{inst} [MPa] \sigma_y [MPa]$		FΟ	σ_{inst} [MPa]	$\sigma_y [MPa]$	FU
Estático	169.20	355.00	0.48	98.33	355.00	0.28
DOC	152.60	355.00	0.43	72.30	355.00	0.20
DEC	178.80	355.00	0.50	99.38	355.00	0.28
Emergência	187.40	355.00	0.53	88.88	355.00	0.25

Tabela 14 - Resultados de tensão das vigas

Os resultados dos níveis de tensão são apresentados nas figuras no anexo V.

5.2. Análise da Estabilidade

A estabilidade estrutura foi analisada de acordo com o item 2.2. Os dados de entrada necessários para a análise são as tensões de compressão axial e de flexão nos planos dos eixos forte e fraco das vigas. A seguir será explicada a método adotado para a obtenção desses dados através do modelo de elementos finitos.

Em relação a orientação de cada elemento, o eixo x do elemento de viga sempre será o eixo paralelo ao seu comprimento. Para o elemento de viga tipo CBEAM, o NASTRAN calcula as forças axiais no eixo neutro e os momentos fletores em dois planos de referência no eixo neutro, os plano xy (Plano 1) e xz (Plano2) indicados na figura abaixo.



Figura 29 - Orientação do elemento de viga

Os eixos x e y, citados no item 2.2 e na AISC equivalem respectivamente aos eixos y e z do elemento no NASTRAN.

A tensão de flexão em relação ao eixo x da AISC (f_{bx}) será calculada a partir do vetor do momento em relação ao plano 2 (eixo y do NASTRAN) e módulo de seção da viga (SMx).

$$f_{bx} = \frac{M_{PLANO2}}{SMx}$$

A tensão de flexão em relação ao eixo y da AISC (f_{by}) será calculada de forma análoga.

$$f_{by} = \frac{M_{PLANO1}}{SMx}$$

A tensão axial atuante nas vigas será calculada a partir do vetor de força axial calculado (F_{AXIAL}) no NASTRAN e da área seccional da viga (A_T) .

$$f_a = \frac{F_{AXIAL}}{A_T}$$

As propriedades das vigas utilizadas na estrutura são apresentadas na tabela abaixo. Pode-se observar que o perfil H tem o eixo x da AISC (ou y do NASTRAN) como o eixo forte, já que é o eixo de maior inércia. Para o perfil tubular essa designação é irrelevante.

Perfil - W 20	00 x 46.1	. (H)	
7	ly	44761533	mm4
4 4 3	Iz	15342246	mm4
	А	5769.2	mm2
	Fy	355	MPa
	hw	203	mm
	tw	11	mm
	lf	203	mm
2	tf	7.2	mm
R			

Tabela 15 - Propriedades da viga H

Tabela 16 - Propriedades da viga tubular



A seguir será feita a aplicação do método descrito acima para uma viga do modelo ilustrada na figura 30, em um caso específico da condição de operação de projeto (DOC).

O comprimento de flambagem l_b é de 7000 mm. De acordo com a tabela 3, o fator de comprimento efetivo k é 1.

Os raios de giração nos planos do eixo x e y são calculados da seguinte maneira:

$$r_{bx} = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{44761533 \text{mm}^4}{5769.2 \text{mm}^2}} = 88.1 \text{ mm}$$
$$r_{by} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{15342246 \text{mm}^4}{5769.2 \text{mm}^2}} = 51.6 \text{ mm}$$

As tensões críticas de Euller são calculadas pela seguinte expressão:

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2 E}{23(kl_b/r_{bx})^2} = \frac{12.\pi^2.206000}{23(1.7000/88.1)^2} = 168.0 MPa$$
$$F'_{ey} = \frac{12\pi^2 E}{23(kl_b/r_{by})^2} = \frac{12.\pi^2.206000}{23(1.7000/51.6)^2} = 57.6 MPa$$

Nota que a tensão de Euller está em Megapascal já que o módulo de elasticidade utilizado também está na mesma unidade.



Figura 30 - Checagem de flambagem da coluna na seção 3-G

Para o cálculo da máxima tensão axial permitida (F_a), primeiro é necessário comparar a razão de esbeltez (kl/r) com o parâmetro C_c . Para isso, é recomendado que se use o menor raio de giração da viga.

$$\frac{kl}{r} = \frac{1.7000}{51.6} = 135.7$$
$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 206000}{355}} = 107.0$$

Como $kl/r > C_c$, então:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(kl/r)^2} = 57.6 \, MPa$$

A máxima tensão de flexão permitida (F_b) é calculada em função do plano de atuação do momento. Como o perfil é não compacto e o eixo x da viga é o eixo forte, F_{bx} será calculada pela seguinte expressão:

$$F_{bx} = F_y \left[0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right] = 51.5 \left[0.79 - 0.002 \frac{203}{2.11} \sqrt{51.5} \right] = 33.9 \, ksi = 233.4 \, MPa$$

Onde F_y é a tensão limite de escoamento do material em ksi. A largura (b_f) e a espessura (t_f) do flange foram utilizadas em milímetros e não em polegadas, já que a razão entre elas não vai afetar as unidades.

A máxima tensão de flexão permitida em relação ao eixo y, eixo fraco, será calculada pela seguinte expressão:

$$F_{by} = 0.60F_y = 0.6.355 = 213 MPa$$

Os fatores de redução C_{mx} e C_{my} serão adotados como 0.85.

As tensões de flexão instaladas na viga serão calculadas a partir do modelo em elementos finitos. A tensão em relação ao eixo x (Plano 2) é calculada pela seguinte expressão:

$$f_{bx} = \frac{M_{PLANO2}}{SMx}$$

Onde SMx é o módulo de seção em relação ao eixo x da viga. Ele é a razão entre o momento de inércia no eixo x e a máxima distância da linha neutra, que neste caso é a metade da altura da viga.

$$SMx = \frac{l_x}{LN} = \frac{44761533}{(d/2)} = \frac{44761533}{101.5} = 441000.3 \ mm^3$$

Pelo modelo da estrutura, foi possível ver que o maior momento no plano 2 era no sentido positivo, como mostra a figura abaixo.



 $M_{PLANO2} = 14580595 N.mm$

Então:

$$f_{bx} = \frac{M_{PLANO2}}{SMx} = \frac{14580595}{441000.3} = 33.06 MPa$$

Ainda pelo modelo da estrutura, também foi possível ver que o maior momento no plano 1 era no sentido negativo, como mostra a figura abaixo.



 $M_{PLANO1} = -6011392 N.mm$

A tensão em relação ao eixo y (Plano 1) é calculada pela seguinte expressão:

$$f_{by} = \frac{M_{PLANO1}}{SMy}$$

Onde SMy é o módulo de seção em relação ao eixo y da viga. Ele é a razão entre o momento de inércia no eixo y e a máxima distância da linha neutra, que neste caso é a metade da largura do flange.

$$SMy = \frac{I_y}{LN} = \frac{44761533}{(b_f/2)} = \frac{15342246}{101.5} = 151155.1 \, mm^3$$

Então:

$$f_{by} = \frac{6011392}{151155.1} = 39.80 \, MPa$$

A tensão axial instalada na viga também é calculada como a razão entre a força axial na viga e sua área transversal (A_T).

$$f_a = \frac{F_{AXIAL}}{A_T}$$

Pela figura 33, podemos ver que:

$$F_{AXIAL} = -123593 N$$

O sinal negativo significa que ela é uma força de compressão.

$$f_a = \frac{123593}{5769.2} = 21.42 \, MPa$$





Pelos critérios descritos no item 2.2, como o esforço axial na viga é de compressão, e como $f_a/F_a = 21.42/57.6 = 0.37 > 0.15$, os critérios que devem ser satisfeitos são:

$$\begin{aligned} \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} &\leq 1.0 \quad (euqação H1 - 1) \\ \frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} &\leq 1.0 \quad (euqação H1 - 2) \end{aligned}$$

euqação H1 − 1:

$$\frac{21.42}{57.6} + \frac{0.85 \cdot 33.06}{\left(1 - \frac{21.42}{168.0}\right)233.4} + \frac{0.85 \cdot 39.8}{\left(1 - \frac{21.42}{57.6}\right)213} = 0.76 \le 1.0$$

euqação H1 – 2:

$$\frac{21.42}{0.6 \cdot 355} + \frac{33.06}{233.4} + \frac{39.8}{213} = 0.43 \le 1.0$$

Pelos cálculos apresentados acima, é possível checar que a viga atende aos critérios de flambagem, propostos pela AISC mediante aos esforços solicitados pelo carregamento prescrito.

O mesmo cálculo foi aplicado para checar a flambagem de todas as vigas e colunas da estrutura para todos os casos de carregamento. Foi feito um envelope máximo e outro mínimo de todos os *outputs* dos casos de carregamento, cada viga foi calculada a partir dos maiores esforços, que não necessariamente ocorriam para o mesmo elemento.

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos, é possível verificar que todas as vigas foram aprovadas nos critérios de flambagem.

Tabela 17 – Resultados de flambagem

	Vidas W2	200 x4	16.1(H)		Material:	NV A36		Perfil:	Н	hw:	203	mm		lf:	203	mm
Elemento	Lb		Fa	Fby	⊢y: Fbz	365 F'ev	N/mm² F'ez	fa	fby	tw: fbz	7.2 fa/Fa	mm H1-1	H1-2	tt: H1-3	11 H2-1	mm Critério
(ID)	[mm]	K	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm²]	[N/mm ²]						
1	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	9.09	10.84	0.08	-	-	-	0.11	Ok
- 2	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	3.24	4.01	0.00	-	-	-	0.00	Ok
4	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	5.19	3.56	0.08	-	-	-	0.06	Ok
5	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	10.37	4.17	0.08	-	-	-	0.09	Ok
6	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	16.20	4.17	0.08	-	-	-	0.11	Ok
8	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	5.16	22.67	2.60	0.08	-	-	-	0.14	Ok
9	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.23	10.31	1.17	0.01	-	-	-	0.06	Ok
10	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.27	9.37	2.43	0.01	-	-	-	0.06	Ok
11	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.34	132.68	8.19	0.07	-	-	-	0.62	Ok
13	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.30	51.50	3.53	0.07	-	-	-	0.20	Ok
14	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.27	61.66	4.42	0.07	-	-	-	0.30	Ok
15	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.28	71.35	4.42	0.07	-	-	-	0.34	Ok
16	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.31	81.47	4.10	0.07	-	-	-	0.38	Ok
17	7552.27	1.0	49.5	233.4	213.0	144.3	49.5	3.35	61.47	4.26	0.07	-	-	-	0.30	Ok
19	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.70	34.91	4.62	0.05	-	-	-	0.19	Ok
20	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.72	20.01	1.73	0.05	-	-	-	0.11	Ok
21	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.75	9.87	1.96	0.05	-	-	-	0.07	Ok
22	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.77	22.57	2.60	0.05	-	-	-	0.13	Ok
24	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.82	46.19	2.59	0.05	-	-	-	0.23	Ok
25	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.84	46.19	2.38	0.05	-	-	-	0.23	Ok
26	6173.48	1.0	74.0	233.4	213.0	215.9	74.0	3.87	66.30	4.94	0.05	-	-	-	0.33	Ok
27	8.6366 0 caea	1.0	59.9 Eq.0	233.4	213.0	1/4.7	59.9 Eq.0	3.80 2.92	34.U3	4.34	0.06	-	-	-	U.18 0.40	Uk Ok
20	6863.8	1.0	59.9	233.4	213.0	174.7	59.9	3.85	12.12	2.50	0.06	-	-	-	0.10	Ok
30	6863.8	1.0	59.9	233.4	213.0	174.7	59.9	3.88	25.39	2.85	0.06	-	-	-	0.14	Ok
31	6863.8	1.0	59.9	233.4	213.0	174.7	59.9	3.90	37.91	2.85	0.07	-	-	-	0.19	Ok
32	6863.8 coco o	1.0	59.9	233.4	213.0	174.7	59.9	3.93	49.70	2.44	0.07	-	-	-	0.24	Ok
33	6863.8	1.0	59.9	233.4	213.0	174.7	59.9	3.95	77.86	5.83	0.07	-	-	-	0.24	Ok
35	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.6	42.7	3.58	73.24	5.41	0.08	-	-	-	0.36	Ok
36	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.6	42.7	3.54	83.45	2.02	0.08	-	-	-	0.38	Ok
37	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.6	42.7	3.51	83.45	3.96	0.08	-	-	-	0.39	Ok
39	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.0	42.7	3.44	65.64	4.30	0.00	-	-	-	0.30	Ok
40	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.6	42.7	3.41	55.86	3.33	0.08	-	-	-	0.27	Ok
41	8126.31	1.0	42.7	233.4	213.0	124.6	42.7	3.37	43.29	2.60	0.08	-	-	-	0.21	Ok
42	8126.31 5500	1.0	42.7 93.2	233.4	213.0	124.b 272.1	42.7	2.55	108.16	7.45	0.08	-	-	-	0.64	Ok
43	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	58.51	3.94	0.03	-	-	-	0.28	Ok
45	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	40.55	2.06	0.03	-	-	-	0.20	Ok
46	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	40.55	1.71	0.03	-	-	-	0.19	Ok
47	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	28.74	1.71	0.03	-	-	-	0.14	Ok
49	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	9.69	2.26	0.03	-	-	-	0.06	Ok
50	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.55	23.44	3.64	0.03	-	-	-	0.13	Ok
51	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	110.12 60.51	8.96	0.03	-	-	-	0.53	Ok
53	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	38.95	2.62	0.03	-	-	-	0.19	Ok
54	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	38.95	2.24	0.03	-	-	-	0.19	Ok
55	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	26.76	2.24	0.03	-	-	-	0.14	Ok
55	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	14.33	1.68	0.03	-	-	-	0.08 0.08	Uk Ok
58	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.74	26.77	4.54	0.03	-	-	-	0.15	Ok
59	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	46.86	4.35	0.02	-	-	0.24	-	Ok
60	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	96.29	1.31	0.02	-	-	0.44	-	Ok
67	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	96.29	2.75	0.02	-	-	0.44	-	Ok
63	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	67.83	3.00	0.02	-	-	0.32	-	Ok
64	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	53.47	2.27	0.02	-	-	0.26	-	Ok
65	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-1.13	35.07	2.71	0.02	-	-	0.18	-	Ok
67	5500	1.0	93.2	233.4 233.4	213.0 213.0	∠∪∪.b 272.1	93.3	-1.13	116.03	5.55	0.02	-	-	0.55	-	Ok
68	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	-1.18	69.96	2.54	0.01	-	-	0.32	_	Ok
69	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	-1.18	24.36	1.21	0.01	-	-	0.12	-	Ok
70	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	-1.18	21.58	1.93	0.01	-	-	0.11	-	Ok
72	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	-1.10	25.55	1.95	0.01	-	-	0.00	-	Ok
73	5500	1.0	93.2	233.4	<u>213.0</u>	272.1	93.3	<u>-1.1</u> 8	41.77	1.13	0.01	-	-	0.20	-	Ok
74	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	-1.18	58.61	2.86	0.01	-	-	0.28	-	Ok
75	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	64.14	3.18	0.00	-	-	0.29	-	Ok
77	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	20.53	1.14	0.00	-	-	0.19	-	Ok
78	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	21.99	1.72	0.00	-	-	0.10	-	Ok
79	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	42.50	1.72	0.00	-	-	0.19	-	Ok
<u>80</u>	4/02.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	62.67	1.49	0.00	-	-	0.28	-	Uk Ok
82	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	-0.20	31.56	2.63	0.00	-	-	0.27	-	Ok

Tabela 18 – Resultados de flambagem

	W seniV	200.vz	IG 1(H)		Material:	NV A36		Perfil:	Н	hw:	203	mm		lf:	203	mm
Elemente	igas in	1	10.1(1) E = -	Ebu	Fy: Ebz	355	N/mm ²	fa	flour	tw:	7.2	mm	412	tf:	11	mm Critária
	[mm]	K	га [N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm ²]	IN/mm²]	IN/mm²]	IN/mm ²	IN/mm²]	ID2 [N/mm ²]	талга	п1-1	n1-2	п.э	ΠZ-1	CITICITIO
172	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.30	8.65	3.81	0.01	-	-	-	0.07	Ok
173	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.33	8.03	5.50	0.01	-	-	-	0.07	Ok
174	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.36	7.50	7.55	0.01	-	-	-	0.08	Ok
175	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.39	6.71	9.00	0.02	-	-	-	0.09	Ok
177	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.45	6.47	15.27	0.02	-	-	-	0.11	Ok
178	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.37	11.01	1.02	0.02	-	-	-	0.06	Ok
179	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.40	10.04	2.16	0.02	-	-	-	0.06	Ok
180	1984	2.0	139.3	233.4	213.0	522.7	179.2	0.00	1.98	3.15	0.00	-	-	-	-	Ok Ok
182	1984	2.0	139.3	233.4	213.0	522.7	179.2	0.00	0.50	0.79	0.00	-	-	-	-	Ok
183	1984	2.0	139.3	233.4	213.0	522.7	179.2	0.00	0.12	0.20	0.00	-	-	-		Ok
184	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	58.74	2.71	0.04	-	-	0.30	-	Ok
185	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	100.43	2.41	0.04	-	-	0.48	-	Ok
185	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	75.53	3.54	0.04	-	-	0.49	-	
188	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	52.84	3.52	0.04	-		0.28	-	Ok
189	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	37.27	2.52	0.04	-	-	0.21	-	Ok
190	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	73.18	3.01	0.04	-	-	0.37	-	Ok
191	6406 5500	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.78	167.83	7.21	0.04	-	-	0.79	. 0.76	Ok
192	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	68.39	2.77	0.03	-	-	-	0.70	Ok
194	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	185.86	1.28	0.03	-	-	-	0.82	Ok
195	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	185.86	1.91	0.03	-	-	-	0.82	Ok
196	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	178.35	1.96	0.03	-	-	-	0.79	Ok
197	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	67.11	1.96	0.03	-	-	-	0.79	Ok Ok
199	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	157.01	3.11	0.03	-	-	-	0.70	Ok
200	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	75.14	3.74	0.04	-	-	-	0.36	Ok
201	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	59.13	1.44	0.04	-	-	-	0.28	Ok
202	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	43.48	1.50	0.04	-	-	-	0.22	Ok
203	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	57.27 60.20	2.14	0.04	-	•	•	0.19	Ok
205	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	82.79	2.22	0.04	-	-	-	0.39	Ok
206	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	82.79	1.75	0.04	-	-	-	0.39	Ok
207	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.72	54.34	2.99	0.04	-	-	-	0.27	Ok
208	2310	2.0	120.9	233.4	213.0	385.6	132.2	0.00	2.69	4.27		-	-	-	-	Ok
205	2310	2.0	120.9	233.4	213.0	385.6	132.2	0.00	0.67	1.07	0.00	-	-	-	-	Ok
211	2310	2.0	120.9	233.4	213.0	385.6	132.2	0.00	0.17	0.27	0.00	-	-	-	-	Ok
212	1197	2.0	176.8	233.4	213.0	1436.0	492.2	0.00	0.72	1.15	0.00	-	-	-	0.01	Ok
213	1197	2.0	176.8	233.4	213.0	1436.0	492.2	0.00	0.41	0.65	0.00	-	-	-	0.00	Uk Ok
214	1197	2.0	176.8	233.4	213.0	1436.0	492.2	0.00	0.05	0.23	0.00	-	-	-	-	Ok
216	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	55.74	2.63	0.04	-	-	0.29	-	Ok
217	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	97.58	2.75	0.04	-	-	0.47	-	Ok
218	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	97.58	3.73	0.04	-	-	0.48	-	Ok
219	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	50.44	3.80	0.04	-	-	0.37		Ok
221	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	37.95	2.84	0.04	-	-	0.22	-	Ok
222	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	75.20	3.64	0.04	-	-	0.38	-	Ok
223	6406	1.0	68.7	233.4	213.0	200.6	68.7	-2.91	169.68	8.04	0.04	-	-	0.81		Ok
224	5500	1.0	93.2	233.4 233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	67 79	2.82	0.03	-	-	-	0.77	Ok Ok
226	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	185.51	1.39	0.03	-	-	-	0.81	Ok
227	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	185.51	2.09	0.03	-	-	-	0.82	Ok
228	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	178.54	2.09	0.03	-	-	-	0.79	Ok
229	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	933	2.76	67.21	2.04	0.03	-	-	-	0.79	Ok Ok
231	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	2.76	157.09	2.90	0.03	-	-	-	0.70	Ok
232	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62	75.54	3.92	0.04	-	-	-	0.36	Ok
233	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62	59.31	1.52	0.04	-	-	-	0.28	Ok
234	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62 // 62	43.42 36 0.4	1.62	0.04	-	-	-	0.22	Ok
235	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62	59.76	2.56	0.04	-	-	-	0.29	Ok
237	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62	82.24	2.56	0.04	-	-	-	0.39	Ok
238	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62	82.24	2.19	0.04	-	-	-	0.38	Ok
239	4702.32	1.0	118.5	233.4	213.0	372.2	127.6	4.62 0.00	53./1	2.60	0.04	-	-	-	0.26	Uk Ok
240	1523	2.0	162.4	233.4	213.0	887.1	304.0	0.00	0.66	1.00	0.00	-	-	-	-	Ok
242	1523	2.0	162.4	233.4	213.0	887.1	304.0	0.00	0.29	0.46	0.00	-	-	-	-	Ok
243	1523	2.0	162.4	233.4	213.0	887.1	304.0	0.00	0.07	0.12	0.00	-	-	-	-	Ok
244	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	23.49	5.17	0.02	-	-	-	0.13	Ok Ok
240	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	13.09	3.04	0.02	-	-	-	0.08	Ok
247	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	8.43	1.97	0.02	-	-	-	0.06	Ok
248	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	4.09	1.25	0.02	-	-	-	0.03	Ok
249	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	4.00	1.22	0.02	-	-	-	0.03	Ok
250	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.15	10.47	3.34	0.02	-	-	-	0.03	Ok
252	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	11.29	3.18	0.02	-	-	-	0.08	Ok
253	4500	10	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	7.08	2.20	0.02	-	-		0.05	Ok

Tabela 19 – Resultados de flambagem

	Vigas W200x46.1(H)			Material:	NV A36		Perfil: H hw:			: 203 mm lf:					mm	
Elemente	lh	1	E Fa	Ehv	Fy: Ebz	355 F'av	N/mm ²	fa	fhy	tw:	7.2	mm	H1 2	tf:	11 H2 1	mm Critérie
(ID)	[mm]	K	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		111-1	111-2		112-1	Cinterio
254	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	2.69	1.22	0.02	-	-	-	0.03	Ok
255	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	7.53	0.97	0.02	-	-	-	0.05	Ok
256	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	12.95	1.71	0.02	-	-	-	0.08	Ok
257	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	24.88	2.69	0.02	-	-	-	0.10	
259	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	2.55	31.32	4.65	0.02	-	-	-	0.14	Ok
260	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	11.39	60.25	4.19	0.08	-	-	-	0.33	Ok
261	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	11.39	44.77	1.60	0.08	-	-	-	0.25	Ok
262	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	11.39	29.77	2.43	0.08	-	-	-	0.19	Ok
263	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4 514.4	176.3	11.39	28.08	3.14	0.08	-	-	-	0.19	Ok
265	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	11.39	48.24	3.56	0.00	-	-	-	0.24	Ok
266	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	1.06	1.68	0.00	-	-	0.01	-	Ok
267	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	0.23	0.37	0.00	-	-	-	-	Ok
268	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	125.10	3.50	0.11	-	-	-	0.62	Ok
269	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	56.99	1.56	0.11	-	-	-	0.32	Ok
270	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	146.58	1.75	0.11	-	-	-	0.70	Ok
271	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	146.50	1.75	0.11	-	-	-	0.70	Ok
273	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	73.62	1.22	0.11	-	-	-	0.39	Ok
274	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	73.62	1.33	0.11	-	-	-	0.39	Ok
275	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	13.79	155.39	3.36	0.11	-	-	-	0.75	Ok
276	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	159.64	3.09	0.07	-	-	-	0.74	Ok
277	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	119.20	1.22	0.07	-	-	-	0.56	Ok
2/8	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	0.55	125.44	1.27	0.07	-	-	-	0.38	OK OF
273	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	151.72	1.40	0.07	-	-	-	0.30	Ok
281	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	151.72	1.23	0.07	-	-	-	0.70	Ok
282	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	64.08	1.18	0.07	-	-	-	0.32	Ok
283	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	8.55	112.52	2.83	0.07	-	-	-	0.54	Ok
284	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	6.60	60.08	5.35	0.06	-	-	-	0.31	Ok
285	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	6.60	44.37	1.77	0.06	-	-	-	0.23	UK Ok
200	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.0	6.60	33.45	2.25	0.00	-	-	-	0.17	Ok
288	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	6.60	47.57	2.70	0.06	-	-	-	0.25	Ok
289	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	6.60	63.78	2.12	0.06	-	-	-	0.31	Ok
290	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	1.06	1.68	0.00	-	-	-	-	Ok
291	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	0.33	0.52	0.00	-	-	-	-	Ok
292	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	3.56	60.85	3.21	0.03	-	-	-	0.29	Uk Ok
293	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	3.56	34.09	1.01	0.03	-	•	-	0.22	Ok
295	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	3.56	21.44	1.50	0.03	-	-	-	0.12	Ok
296	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	3.56	14.18	1.44	0.03	-	-	-	0.08	Ok
297	4000	1.0	138.4	233.4	213.0	514.4	176.3	3.56	18.27	1.30	0.03	-	-	-	0.10	Ok
298	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	1.06	1.68	0.00	-	-	0.01	-	Ok
299	1450	2.0	105.8	233.4	213.0	978.6	139.3	4.08	0.23	0.37	0.00	-	-	-	- 0.52	
301	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.08	63.29	1.21	0.03	-	-	-	0.30	Ok
302	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.08	150.93	1.06	0.03	-	-	-	0.67	Ok
303	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.08	150.93	1.37	0.03	-	-	-	0.67	Ok
304	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.08	105.78	1.37	0.03	-	-	-	0.48	Ok
305	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.08	117.99	1.21	0.03	-	-	-	0.53	Ok
307	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.00	156.72	2.53	0.03	-	-	-	0.33	Ok
308	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	161.26	2.45	0.04	-	-	-	0.73	Ok
309	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	117.81	0.77	0.04	-	-	-	0.53	Ok
310	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	125.26	1.17	0.04	-	-	-	0.57	Ok
311	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	125.26	1.29	0.04	-	-	-	0.57	Ok
312	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94 1 0.4	152.52	1.29 n.an	0.04	-	-	-	80.U	OK OF
314	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	65 47	1.40	0.04	-	-	-	0.31	Ok
315	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	4.94	110.30	3.32	0.04	-	-	-	0.51	Ok
316	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	4.51	55.35	4.48	0.04	-	-	-	0.28	Ok
317	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	4.51	42.60	1.26	0.04	-	-	-	0.21	Ok
318	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	4.51	30.51	2.18	0.04	-	-	-	0.16	Ok
320	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.0	4.51	13.69	2.10	0.04	-	-	-	0.11	Ok
321	5000	1.0	109.4	233.4	213.0	329.2	112.8	4.51	19.97	1.60	0.04	-	-	-	0.11	Ok
322	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	1.06	1.68	0.00	-		-	-	Ok
323	1450	2.0	165.8	233.4	213.0	978.6	335.4	0.00	0.33	0.52	0.00	-	-	-	-	Ok
324	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	42.96	3.90	0.01	-	-	-	0.21	Ok
325	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	22.11	1.92	0.01	-	-	-	0.11	Ok
320	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	81.81	2.83	0.01	-	-	-	0.24	Ok
328	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	81.81	2.59	0.01	-	-	-	0.37	Ok
329	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	49.25	1.58	0.01	-	-	-	0.22	Ok
330	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	19.71	1.58	0.01	-	-	-	0.10	Ok
331	4500	1.0	124.4	233.4	213.0	406.4	139.3	1.34	56.09	4.05	0.01	-	-	-	0.27	Ok
322	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.14	190.83	13.78 8.10	0.08	-	-	U.Jb 0.33	-	OF OF
334	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.10	47.90	3,51	0.00	-	-	0.30	-	Ok
335	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.03	46.60	7.20	0.08	-	-	0.31		Ok

Tabela 20 – Resultados de flambagem

					Material:	NV A36		Perfil	н	hw:	203	mm		lf	203	mm
	Vigas W	200x4	16.1(H)		Fy:	355	N/mm²			tw:	7.2	mm		tf:	11	mm
Elemento	Lb	k	Fa	Fby	Fbz	F'ey	F'ez	fa	fby	fbz	fa/Fa	H1-1	H1-2	H1-3	H2-1	Critério
(ID)	[mm]	r.	[N/mm ²]													
336	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.00	45.90	11.87	0.08	-	-	0.33	-	Ok
337	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-11.97	48.39	16.89	0.08	-	-	0.37	-	Ok
338	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-11.93	50.76	22.72	0.08	-	-	0.40	-	Ok
339	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-11.90	53.03	28.88	0.08	-	-	0.44	-	Ok
340	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	6/1.9	230.3	-12.45	55.50	19.77	0.08	-	-	0.41	-	Uk
341	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.41	53.52	11.99	0.08	-	-	0.37	-	UK
342	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.38	51.64	4.82	0.08	-	-	0.33	-	UK
343	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.35	49.87	10.46	0.08	-	-	0.34	-	UK
244	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	10.00	40.20	17.45	0.00	-		0.37	-	OK
245	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	10.05	50.14	24.01	0.00	-	-	0.41	-	OK
340	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.20	54.08	J2.00	0.00	-		0.40	-	Ok
348	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-12.21	113.36	38.75	0.00	0.82	0.81	0.30		
340	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-31.00	87.20	24.25	0.21	0.02	0.63	-	-	Ok
350	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-31.04	61.15	9.88	0.20	0.48	0.45			Ok
351	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.98	35.20	18.58	0.20	0.42	0.38			Ok
352	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.94	33.12	32.48	0.20	0.48	0.44	-	-	Ok
353	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.91	42.02	46.35	0.20	0.58	0.54	-		Ok
354	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.88	67.55	60.10	0.20	0.74	0.72	-	-	Ok
355	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.84	92.97	73.72	0.20	0.90	0.89	-	-	Ok
356	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.67	20.34	25.32	0.20	0.40	0.35	-	-	Ok
357	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.60	12.46	14.98	0.20	0.32	0.27	-	-	Ok
358	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.53	29.49	5.14	0.20	0.34	0.29	-	-	Ok
359	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.47	46.94	13.02	0.20	0.44	0.41	-	-	Ok
360	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.13	76.73	20.70	0.20	0.59	0.57	-	-	Ok
361	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.07	35.57	27.89	0.20	0.46	0.42	-	-	Ok
362	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-30.00	45.49	36.22	0.20	0.54	0.51	-	-	Ok
363	3500	1.0	151.5	233.4	213.0	671.9	230.3	-29.93	85.40	46.70	0.20	0.74	0.73	-	-	Ok
364	/000	1.0	67.6	233.4	213.0	168.0	67.6	-25.84	12.49	24.95	0.45	0.68	0.29	-	-	0k
365	/000	1.0	67.6	233.4	213.0	168.0	67.6	-25.78	8.21	14.98	0.45	0.59	0.23	-	-	0k
366	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.71	8.88	6.68	0.45	0.53	0.19	-	-	Uk Ci
367	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.64	15.66	11.94	0.45	0.60	0.24	-	-	Ok
368	7000	1.0	57.b	233.4	213.0	168.0	57.b	-25.57	22.27	19.91	0.44	0.68	0.31	-	-	UK
369	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.51	28.71	27.38	0.44	0.75	0.37	-	-	OK
271	7000	1.0	57.0	233.4	213.0	160.0	57.0	-20.44 DE 07	35.06	36.09 46.15	0.44	0.05	0.44	-	-	OK
271	7000	1.0	57.0	200.4	213.0	160.0	57.0	-20.37 DE CO	42.25	46.15	0.44	0.90	0.32	-	-	OK
373	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.60	8.79	20.49	0.45	0.05	0.30	-	-	Ok
374	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.61	8.99	7.17	0.44	0.00	0.25	-	-	Ok
375	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.04	15.76	12.51	0.44	0.55	0.15			Ok
376	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.41	22.37	21.00	0.44	0.69	0.31			Ok
377	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.34	28.80	29.00	0.44	0.77	0.38	-	-	Ok
378	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.27	35.15	38.18	0.44	0.86	0.45	-	-	Ok
379	7000	1.0	57.6	233.4	213.0	168.0	57.6	-25.21	42.35	48.76	0.44	0.97	0.53	-	-	Ok
380	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	7.42	13.72	0.26	-	-	-	0.14	Ok
381	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	3.29	7.40	0.26	-	-	-	0.09	Ok
382	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	4.71	7.27	0.26	-	-	-	0.10	Ok
383	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	5.17	7.27	0.26	-	-	-	0.10	Ok
384	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	5.17	7.14	0.26	-	-	-	0.10	Ok
385	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	4.79	6.65	0.26	-	-	-	0.09	Ok
386	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	3.41	7.06	0.26	-	-	-	0.09	Ok
387	9000	1.0	34.8	233.4	213.0	101.6	34.8	9.04	7.31	13.63	0.26	-	-	-	0.14	Ok
388	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	21.83	18.06	0.82	-	-	-	0.54	Ok
389	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	17.58	12.52	0.82	-	-	-	0.49	UK
390	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	13.87	1.11	0.82	-	-	-	0.40	UK
301	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	33.3	76.04	7 07	4.03	0.02			-	0.43	OF
303	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	7.07	3.92	0.02	<u> </u>	-		0.41	OK
394	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	6.72	4.89	0.02	<u> </u>		<u> </u>	0.40	
395	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	76.64	7.88	6.57	0.82	-		-	0.47	Ok
396	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-100.30	15.90	9.94	0.64	0.77	0.59	- 1	-	Ok
397	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-100.31	7.48	6.80	0.64	0.71	0.53	-	-	Ok
398	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-100.31	18.98	4.74	0.64	0.75	0.57	-	-	Ok
399	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-100.32	31.54	3.50	0.64	0.79	0.62	-	-	Ok
400	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-101.41	21.36	3.83	0.64	0.76	0.59	-	-	Ok
401	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-101.41	13.90	5.86	0.64	0.74	0.56	-	-	Ok
402	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-101.42	7.23	9.86	0.64	0.74	0.55	-	-	Ok
403	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-101.42	4.13	15.30	0.64	0.76	0.57	-	-	Ok
404	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-107.24	16.84	8.15	0.68	0.81	0.61	-		Ok
405	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-107.25	7.76	5.70	0.68	0.75	0.56	-	-	Ok
406	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-107.25	20.35	3.90	0.68	0.79	0.61	-	-	Ok
407	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-107.26	33.70	3.90	0.68	0.85	0.67	-	-	Ok
408	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-108.42	22.81	3.82	0.69	0.81	0.62	-	-	Uk
409	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	-108.42	14.90	5.42	0.69	0.79	0.60	-	-	Uk
410	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	109.43	/./b	0.02	0.69	0.78	0.58	-	-	UK
411	3259.6 EE00	1.0	02.0	233.4	213.0	774.0	_∠05.5 	92.24	4.48	13./3	0.09	0.00	0.39	-	- 0.40	OF
412	5000	1.0	33.Z	233.4	213.0	272.1	33.3	02.24 83.34	6.70	0.21 E 10	0.00			-	0.40	OF
413	5500	1.0	93.2 92.2	233.4	213.0	272.1	93.3	82.24	6.70	1.19	0.00				0.44	OF
414 /1E	5500	1.0	93.2 92.2	233.4	213.0	272.1	93.3	82.24	8.13	4.72	0.00				0.43	OF
415	0000	1.0	00.Z	200.4	213.0	272.1	93.3	82.24	11 / 1	2.01 / RR	0.00	-		-	0.44	OF
<u>410</u>	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	82.24	14.86	7.80	0.00	-	-	-	0.40	
418	5500	1.0	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	82.24	18.74	12.82	0.88	<u> </u>		<u> </u>	0.53	Ok
419	5500	10	93.2	233.4	213.0	272.1	93.3	82.24	23.14	18.60	0.88	<u> </u>		<u> </u>	0.57	0k
484	3259.6	1.0	157 4	233.4	213.0	774.6	265.5	2 43	9.28	3.41	0.00	<u> </u>		<u> </u>	0.07	Ok
485	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.46	8.61	4.85	0.02	-	<u> </u>	-	0.07	Ok
486	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.49	8.04	6.73	0.02	-		-	0.08	Ok
487	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.52	7.56	8.88	0.02	-		-	0.09	Ok
488	3259.6	1.0	157.4	233.4	213.0	774.6	265.5	2.56	7.17	11.29	0.02	-		-	0.10	Ok
489	3259.6	10	167.4	233 A	213.0	774.6	265.5	2.59	6.87	13.97	0.02				0.11	Ok

Tabela 21 –	Resultados	de flambagem
-------------	------------	--------------

	/igas Tu	ubo 1	68.3x7.1		Material:	NV A36	N1/7	Pertil	Tubo	D:	168.3	mm				
Elemento	Lb	V	Fa	Fby	Fy: Fbz	355 F'ey	F'ez	fa	fby	t: fbz	7.1 fa/Fa	mm H1-1	H1-2	H1-3	H2-1	Critério
(ID)	[mm]	1.0	[N/mm ²]	0.01				0.47	OL							
83	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.65	21.35	17.73	0.01	-	-	-	0.17	Ok
85	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.64	11.56	13.01	0.01		-		0.11	Ok
86	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.63	22.51	10.84	0.01	-	-	-	0.15	Ok
87	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.63	33.44	8.73	0.01	-	-	-	0.19	Ok
88	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.63	44.35	6.62 4.46	0.01	•	-	•	0.23	Ok
90	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	1.62	66.15	2.25	0.01	-	-	-	0.30	Ok
91	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	-29.07	7.86	4.15	0.16	0.21	0.19		-	Ok
92	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	-29.06	7.36	8.10	0.16	0.22	0.20	-	-	Ok
94	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	-29.03	9.97	15.43	0.16	0.24	0.22		-	Ok
95	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	-28.28	27.26	8.73	0.16	0.30	0.29		-	Ok
96	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	488.9	488.9	-28.27	18.06	6.66	0.16	0.26	0.24	-	-	Ok
97	2658	1.0	176.6	234.3	234.3	400.9	400.9	-20.20	63.70	2.30	0.16	0.33	0.33		-	Ok
99	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.28	8.51	1.95	0.12		-	0.16	-	Ok
100	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.27	5.33	3.46	0.12	-	-	0.15	-	Ok
101	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.26	2.85	4.53	0.12	-	-	0.15	-	Ok
102	4031	1.0	147.0	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.25	17.59	4.90	0.12		•	0.16	-	Ok
104	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.16	7.93	3.94	0.12	-	-	0.17	-	Ok
105	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.17	11.15	2.81	0.12	-	-	0.18	-	Ok
106	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-17.18	20.52	1.55	0.12	-	-	0.21	-	Ok Ok
108	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.22	9.54	2.94	0.00	-	-	0.05	-	Ok
109	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.23	7.94	2.85	0.00	-	-	0.05	-	Ok
110	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.23	16.62	2.65	0.00	-	-	0.08	-	Ok
111	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.23	25.26	2.34	0.00	-	-	0.12	-	Ok Ok
113	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.23	42.43	1.32	0.00	-	-	0.15	-	Ok
114	4031	1.0	147.8	234.3	234.3	212.5	212.5	-0.24	51.04	0.75	0.00	-	-	0.22	-	Ok
115	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-23.32	6.61	2.66	0.16	0.20	0.15	-	-	Ok
116	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6 186.6	186.6	-23.31	2.79	4.81	0.16	0.20	0.14	•	-	Ok
118	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-23.25	9.38	7.62	0.16	0.22	0.10		-	Ok
119	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-23.28	23.19	6.29	0.16	0.29	0.24		-	Ok
120	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-23.27	18.22	5.47	0.16	0.26	0.21	-	-	Ok
121	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-23.26	60.79	2.33	0.16	0.34	0.29	-	-	Ok
123	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.90	15.23	5.39	0.01	-	-	-	0.09	Ok
124	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.90	10.58	5.16	0.01	-	-	-	0.07	Ok
125	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6 186.6	186.6 186.6	0.91	8.73	4.80	0.01	-	-		0.06	Ok
120	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.92	24.50	3.70	0.01		-		0.03	Ok
128	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.92	32.32	2.96	0.01	-	-	-	0.15	Ok
129	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6 196.6	186.6	0.93	40.09	2.10	0.01	-	-		0.18	Ok
130	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.93	47.63	2.73		-	-	-	0.21	Ok
132	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.22	9.85	2.73	0.00	-	-	-	0.05	Ok
133	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.22	7.90	2.72	0.00	-	-	-	0.05	Ok
134	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6 186.6	186.6	0.23	16.71	2.58	0.00	-	-	-	0.08	Ok
136	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.23	34.20	1.92	0.00	-	-	-	0.12	Ok
137	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.24	42.88	1.41	0.00	-	-	-	0.19	Ok
138	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	0.25	51.60	0.77	0.00	-	-	- 0.47	0.22	Ok
140	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	100.0 186.6	-10.22	0.04 5.25	3.79	0.13	-	-	0.17	-	Ok
141	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-18.20	3.43	4.93	0.13	-	-	0.16	-	Ok
142	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-18.19	4.62	5.56	0.13	-	-	0.17	-	Ok
143	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6 186.6	186.6 186.6	-18.18	16.11	5.60 4.51	0.13	-	-	0.22	-	Uk OF
145	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-18.18	9.56	3.21	0.13	-	-	0.18	-	Ok
146	4301	1.0	141.4	234.3	234.3	186.6	186.6	-18.18	18.02	1.86	0.13	-	-	0.21	-	Ok
420	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.81	2.10	0.77	0.07	-	-	0.09	-	Ok
421	5701	1.0	104.6 104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.81	0.57	1.52	0.07	-	-	0.09	-	Ok
423	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.82	0.73	1.76	0.07	-	-	0.09	-	Ok
424	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.83	1.10	1.76	0.07	-	-	0.09	-	Ok
425	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.83	1.34	1.65	0.07	-	-	0.09	-	Ok Ok
420	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-7.84	2.40	0.77	0.07	-	-	0.09	-	Ok
436	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.10	1.16	0.77	0.08	-	-	0.09	-	Ok
437	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.10	0.81	1.32	0.08	-	-	0.09	-	Ok
438	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.09 -8.09	U./8	1.65	0.08	-	-	0.09	-	Uk Ok
440	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.09	0.70	1.76	0.08	-	-	0.09	-	Ok
441	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.08	0.55	1.65	0.08	-	-	0.09	-	Ok
442	5701	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.08	0.47	1.32	0.08	-	-	0.08	-	Ok
443	5/01 4161	1.0	104.6	234.3	234.3	106.2	106.2	-8.07	0.82	0.77	80.0	0.51	- 0.42	0.08	-	Uk Ok
453	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.08	35.05	4.66	0.20	0.44	0.42	<u> </u>		Ok

Tabela 22 – Resultados de flambagem

	Vigas Tubo 168.3x7.1				Material:	NV A36		Pertil Tubo D:			168.3 mm					
Elemente	l l h		E a	Ehu	Fy: Ebz	355 E'ov	N/mm ²	fa	fhu	t: fbr	7.1	mm	H1 2	H1 3	H2 1	Critária
(ID)	[mm]	K	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	IN/mm²]	la/ia	111-1	111-2	111-5	112-1	Citterio
454	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.09	16.97	6.29	0.26	0.37	0.28	-	-	Ok
455	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.10	22.27	7.45	0.26	0.40	0.31	-	-	Ok
456	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.00	8.94	7.67	0.26	0.34	0.25	-	-	Ok
457	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.01	2 92	0.40	0.26	0.31	0.23	-	-	Ok
459	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-38.03	7.19	2.62	0.26	0.31	0.21	-	-	Ok
460	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.79	25.54	6.92	0.01	-	-	0.14	-	Ok
461	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.79	16.11	6.47	0.01	-	-	0.10	-	Ok
462	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.79	6.64	5.90	0.01	-	-	0.06	-	Ok
463	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.79	12.50	5.21	0.01	-	-	0.08	-	Ok
464	4161	1.0	144.0	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.79	31.66	3.48	0.01	-	-	0.12	-	Ok
466	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.80	41.33	2.44	0.01	-	-	0.19	-	Ok
467	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-0.80	51.05	1.28	0.01	-	-	0.23	-	Ok
468	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.01	58.87	2.57	0.23	0.50	0.42	-	-	Ok
469	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.01	37.70	4.68	0.23	0.41	0.34	-	-	Ok
470	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.02	26.09	7.48	0.23	0.33	0.20	-	-	Ok
472	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.42	8.49	8.10	0.23	0.30	0.23	-	-	Ok
473	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.42	4.49	6.78	0.23	0.28	0.20	-	-	Ok
474	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.43	4.00	4.99	0.23	0.27	0.20	-	-	Ok
475	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-33.43	8.49	2.73	0.23	0.28	0.20	-	- 0.47	Ok
4/6	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.79	19.53	6.82	0.01	-	-	-	0.1/	OF OF
478	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.80	7.96	6.20	0.01	-	-	-	0.06	Ok
479	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.80	15.52	5.46	0.01	-	-	-	0.09	Ok
480	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.80	26.96	4.60	0.01	-	-	-	0.14	Ok
481	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.80	38.35	3.63	0.01	-	-	-	0.18	Ok
482	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	49.71	2.54	0.01	-	-	-	0.23	Ok
403	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.65	57.50	2.22	0.01	- 0.47	- 0.40	-	0.27	Ok
517	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.64	36.74	3.96	0.21	0.39	0.32		-	Ok
518	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.64	16.68	5.24	0.21	0.31	0.24	-	-	Ok
519	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.63	24.95	6.31	0.21	0.35	0.28	-	-	Ok
520	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.77	6.50	6.79	0.21	0.27	0.20	-	-	Ok
521	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.76	4.77	5.80	0.21	0.26	0.19	-	-	Ok
523	4161	1.0	144.0	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.76	5.59	2.40	0.21	0.25	0.10	-	-	Ok
524	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	29.08	4.43	0.01	-	-	-	0.15	Ok
525	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	17.93	4.29	0.01	-	-	-	0.10	Ok
526	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	6.89	4.03	0.01	-	-	-	0.05	Ok
527	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	15.26	3.65	0.01	-	-	-	0.08	Ok
520	4161	1.0	144.0	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	26.24	2.54	0.01	-	-	-	0.13	Ok
530	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	48.08	1.81	0.01	-			0.22	Ok
531	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	59.03	0.96	0.01	-	-	-	0.26	Ok
532	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.73	57.65	2.29	0.21	0.47	0.40	-	-	Ok
533	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.73	36.76	4.12	0.21	0.39	0.32	-	-	Ok
534	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-30.73	25.31	5.48	0.21	0.31	0.24	-	-	Ok
536	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-31.06	6.67	7.03	0.21	0.33	0.20	-	-	Ok
537	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-31.05	4.58	5.98	0.21	0.26	0.19	-	-	Ok
538	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-31.05	3.92	4.45	0.21	0.25	0.18	-	-	Ok
539	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	-31.05	6.02	2.46	0.21	0.25	0.18	-	-	Ok
540	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	19.42	5.02	0.01	-	-	-	0.15	Uk
541	4161	1.0	144.0	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	6.90	4.00	0.01	-	-	-	0.10	Ok
543	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.81	16.22	4.02	0.01	-	-	-	0.09	Ok
544	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	27.69	3.45	0.01	-	-	-	0.14	Ok
545	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	39.12	2.76	0.01	-	-	-	0.18	Ok
546	4161	1.0	144.8	234.3	234.3	199.4	199.4	0.82	60.51	1.96	0.01	-	-	-	0.23	Ok
547 604	4101	1.0	144.0	234.3	234.3	155.4	174 3	17.64	5.68	25.40	0.01	-	-	-	0.27	Ok
605	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.64	5.44	14.72	0.13	-	-	-	0.17	Ok
606	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.63	5.07	7.21	0.13	-	-	-	0.14	Ok
607	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.63	4.56	17.90	0.13	-	-	-	0.18	Ok
608	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.62	3.92	28.55	0.13	-	-	-	0.22	Ok
610	4451 4751	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.61	3.14	39.15 19.71	0.13	-	-	-	0.26	Uk Ok
611	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.60	1,18	60.51	0.13	-	-	-	0.35	Ok
612	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.61	1.22	32.19	0.13	-	-	-	0.23	Ok
613	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.61	2.30	26.20	0.13	-	-	-	0.20	Ok
614	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.60	3.25	20.32	0.13	-	-	-	0.18	Ok
615	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.60	4.06	14.55	0.13	-	-	-	0.16	Ok
617	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.59	4./4 5.00	0.88	0.13	-	-	-	0.14	OF OF
618	4451	1.0	137.0	234.3	234.3	174.3	174.3	17.50	5.29	8.70	0.13	-	-	-	0.13	Ok
619	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	17.57	5.98	12.97	0.13	-	-	-	0.16	Ok
620	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.57	4.54	31.18	0.00	-	-	0.16	-	Ok
621	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.57	4.17	19.85	0.00	-	-	0.11	-	Ok
622	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.57	3.74	9.72	0.00	-	-	0.06	-	Ok
1 023	14451	LT.U.	IJ/.Ŭ	∠J4.J	∠34.3	174.5	174.5	I -0.50	J 3.25	1 14.07	UU.UU			U.UŬ		UK

Tabela 23 – Resultados de flambagem

	Vigas Tubo 168.3x7.1				Material:	NV A36		Pertil	Tubo	168.3 mm						
Elemento	lh.		Fa	Eby	Fy: Ebz	355 F'ev	N/mm ²	fa	fhy	t: fbz	7.1 fa/Ea	mm	H1 2	H1 3	H2 1	Critário
(ID)	[mm]	К	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	ia/ia	111-1	111-2	111-5	112-1	Citterio
624	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.58	2.71	25.99	0.00	-	-	0.13	-	Ok
625	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.59	2.12	37.46	0.00	-		0.17	-	Ok
626	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.59	1.47	49.05	0.00	-	-	0.22	-	Ok
627	4451	1.0	1/37.8	234.3	234.3	174.3	174.3	-0.60	0.79	50.68	0.00	-	-	0.27	-	UK Ok
629	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.96	2.15	60.17	0.16	0.47	0.45	-	-	Ok
630	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.96	3.05	47.24	0.16	0.37	0.32	-	-	Ok
631	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.97	3.82	34.69	0.16	0.32	0.27	-	-	Ok
632	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.97	4.48	22.30	0.16	0.27	0.22	-	-	Ok
633	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.98	5.01	9.81	0.16	0.22	0.1/	-	-	Ok
635	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.90	5.42	28.39	0.16	0.25	0.20	-	-	Ok
636	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.82	6.96	14.43	0.16	0.25	0.20	-	-	Ok
637	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.83	6.51	10.52	0.16	0.23	0.18	-	-	Ok
638	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.83	5.94	6.98	0.16	0.21	0.16	-	-	Ok
639	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.84	5.25	3.69	0.16	0.20	0.15	-	-	Ok
640	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.84	4.44	5.68	0.16	0.20	0.15	-	-	Ok
642	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.85	2.46	12.27	0.16	0.21	0.10	-	-	Ok
643	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.86	1.29	15.61	0.16	0.23	0.18	-	-	Ok
644	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.30	4.67	20.66	0.01	-	-	-	0.11	Ok
645	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.31	4.51	11.29	0.01	-	-	-	0.07	Ok
646	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.32	4.22	18.00	0.01	-	-	-	0.06	Uk Ok
648	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.32	3.30	27.67	0.01	-		-	0.10	Ok
649	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.33	2.65	37.21	0.01	-	-		0.18	Ok
650	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.34	1.89	46.72	0.01	-	-	-	0.21	Ok
651	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.34	1.01	56.18	0.01	-	-	-	0.25	Ok
652	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.22	1.29	72.39	0.15	0.46	0.42	-	-	Ok
653	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.22	2.47	46.73	0.15	0.41	0.37	-	-	Ok
655	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.22	4.45	34.31	0.15	0.30	0.32	-	-	Ok
656	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.23	5.26	22.08	0.15	0.27	0.22	-	-	Ok
657	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.23	5.95	9.74	0.15	0.22	0.17	-	-	Ok
658	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.24	6.52	15.67	0.16	0.25	0.20	-	-	Ok
659	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.25	6.97 7 DQ	27.99	0.16	0.30	0.25	-	-	Ok
661	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.00	6.80	14.59	0.15	0.24	0.20	-	-	Ok
662	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.09	6.19	7.02	0.15	0.21	0.16	-	-	Ok
663	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.10	5.46	3.82	0.15	0.19	0.14	-	-	Ok
664	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.10	4.61	5.53	0.15	0.20	0.15	-	-	Ok
665	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.11	3.64	8.82	0.15	0.21	0.16	-	-	Ok
667	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	-22.11	2.55	12.08	0.15	0.21	0.17	-	-	Ok
668	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.29	6.29	20.26	0.01	-	-	-	0.12	Ok
669	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.30	5.93	11.11	0.01	-	-	-	0.08	Ok
670	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.30	5.44	8.55	0.01	-	-	-	0.07	Ok
671	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.31	4.84	18.07	0.01	-	-	-	0.10	Ok
672	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.31	4.11	27.55	0.01	-	-	-	0.14	Uk Ok
674	4210	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.32	2.30	46.39	0.01	-	-	-	0.10	Ok
675	4216	1.0	143.5	234.3	234.3	194.2	194.2	1.33	1.21	55.74	0.01	-		-	0.25	Ok
676	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.11	5.89	26.13	0.12	-	-	-	0.21	Ok
677	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.10	5.62	15.26	0.12	-	-	-	0.16	Ok
678	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.10	5.22	17.00	0.12	-	-	-	0.13	Ok
80	4401 4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.5	16.09	4.09	28.63	0.12	-	-	-	0.17	Ok
681	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.08	3.22	39.42	0.12	-		-	0.26	Ok
682	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.07	2.28	50.17	0.12	-	-	-	0.30	Ok
683	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.07	1.21	61.03	0.12	-	-	-	0.34	Ok
684	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.05	1.22	29.08	0.12	-	-	-	0.20	Ok
685	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.04	2.31	23.68	0.12	-	-	-	0.19	UK
687	4451	1.0 1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.04	4.08	13.20	0.12	-		-	0.17	Ok
688	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.02	4.76	8.12	0.12	-	-	-	0.13	Ok
689	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.02	5.31	4.01	0.12	-	-	-	0.11	Ok
690	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.01	5.73	6.79	0.12	-	-	-	0.13	Ok
691	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	16.01	6.01	11.41	0.12	-	-	-	0.15	Ok
692	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	0.54	4.43	29.78	0.00	-	-	-	0.15	Uk
693	4401	1.0	137.0	234.3	234.3	174.3	174.3	0.54	4.07	9.41	0.00	-		-	0.10	Ok
695	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	0.55	3.18	14.56	0.00	-	-		0.08	Ok
696	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	0.55	2.66	25.63	0.00	-	-	-	0.12	Ok
697	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	0.55	2.08	36.78	0.00	-	-	-	0.17	Ok
698	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	174.3	174.3	0.55	1.44	48.03	0.00	-	-	-	0.21	Ok
599	4451	1.0	137.8	234.3	234.3	1/4.3	1/4.3	0.56	0.78	1.95	0.00	-	-	-	0.26	Uk
700	7829	1.0	- 00.3 - 56.3	234.3	234.3	56.3	- 00.3 - 56 3	7.15	0.00	1.05 0.83	0.13	-		-	0.04	Ok
702	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.16	0.00	1.07	0.13	-			0.04	Ok
703	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.16	0.00	1.18	0.13	-			0.04	Ok
704	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.16	0.00	1.18	0.13	-	-	-	0.04	Ok
705	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.17	0.00	1.07	0.13	-	-	-	0.04	Ok

					Material:	NV A36		Pertil	Tuho	D:	168.3	mm					
\	∕igas Ti	npo ,	168.3x7.1		Ev:	355	N/mm²			t:	7.1 mm						
Elemento	Lb	12	Fa	Fby	Fbz	F'ey	F'ez	fa	fby	fbz	fa/Fa	H1-1	H1-2	H1-3	H2-1	Critério	
(ID)	[mm]	K	[N/mm ²]														
706	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.17	0.00	1.30	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
707	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.18	0.00	2.75	0.13	-	-	-	0.05	Ok	
708	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.15	0.00	1.63	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
709	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.15	0.00	0.72	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
710	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.16	0.00	1.07	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
711	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.16	0.00	1.08	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
712	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.17	0.00	1.08	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
713	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.17	0.00	0.88	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
714	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.17	0.00	0.95	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
715	7829	1.0	56.3	234.3	234.3	56.3	56.3	7.18	0.00	2.30	0.13	-	-	-	0.04	Ok	
716	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.40	0.00	2.18	0.12	-	-	-	0.05	Ok	
717	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.39	0.00	1.12	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
718	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.38	0.00	0.71	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
719	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.37	0.00	0.77	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
720	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.36	0.00	0.77	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
721	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.35	0.00	0.71	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
722	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.34	0.00	0.51	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
723	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	8.33	0.00	1.28	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
724	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.86	0.00	1.41	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
725	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.87	0.00	0.57	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
726	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.88	0.00	0.63	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
727	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.89	0.00	0.63	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
728	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.90	0.00	0.63	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
729	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.91	0.00	0.59	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
730	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.92	0.00	1.08	0.12	-	-	-	0.04	Ok	
731	7106	1.0	68.4	234.3	234.3	68.4	68.4	7.93	0.00	2.17	0.12	-	-	-	0.05	Ok	
732	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.71	0.00	1.69	0.03	-	-	-	0.02	Ok	
/33	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.71	0.00	0.68	0.03	-	-	-	0.02	Ok	
/34	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.70	0.00	0.70	0.03	-	-	-	0.02	Uk	
/35	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.70	0.00	1.08	0.03	-	-	-	0.02	UK	
/36	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.70	0.00	1.26	0.03	-	-	-	0.02	UK	
737	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.69	0.00	1.26	0.03	-	-	-	0.02	UK	
738	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.69	0.00	1.22	0.03	-	-	-	0.02	UK	
739	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	2.68	0.00	1.79	0.03	-	-	-	0.02	UK	
740	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	3.51	0.00	1.63	0.04	-	-	-	0.02	UK	
741	6509	1.0	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	3.50	0.00	0.67	0.04	-	-	-	0.02	UK	
742	0509	1.0	81.5	234.3	234.3	01.5	81.5	3.49	0.00	0.61	0.04	-	-	-	0.02	UK	
743	6509	1.0	01.5	234.3	234.3	01.5	01.5	3.48	0.00	0.94	0.04	-	-	-	0.02	UK	
744	0509	1.0	01.5	234.3	234.3	01.5	01.5	3.47	0.00	1.06	0.04	-	-	-	0.02	UK	
745	0509	1.0	81.5	234.3	234.3	01.5	81.5	3.48	0.00	1.06	0.04	-	-	-	0.02	UK	
746	0509	1.0	01.5	234.3	234.3	01.5	01.5	3.49	0.00	1.13	0.04	-	-	-	0.02	UK	
(4/	6009	[1.U	81.5	234.3	234.3	81.5	81.5	J 3.50	U.UU	2.00	0.04		-	-	0.02	UK	

Tabela 24 – Resultados de flambagem

6. CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, após a realização de todas as condições de carregamento podemos ter uma visão global do que foi proposto neste projeto, que é na essência, analisar a resposta da estrutura suporte do heliponto inicialmente proposta.

A aplicação das cargas no modelo em elementos finitos foi feita de forma superestimada. Por exemplo, a carga de vento, onde não foi considerado o perfil de vento e foi usada a velocidade do vento na altura máxima do heliponto em relação ao nível do mar para carregar todo o modelo. Além disso, não foram considerados os efeitos de sobreposição das vigas, onde uma serviria de escudo para as outras. A maior extrapolação das cargas foi no caso das cargas do helicóptero, onde foram aplicadas cargas pontuais diretamente nas vigas da parte superior da estrutura, onde na verdade essas cargas atuariam no convés do heliponto e seriam transmitidas a estrutura suporte pelos pontos de apoio.

Neste relatório não foram considerados os casos do comportamento da estrutura do heliponto em resposta as acelerações sofridas pela unidade durante seu deslocamento de um ponto a outro de operação. Foi considerado que, como nesses casos o helicóptero não opera essa condição não seria majoritária no dimensionamento da estrutura.

Tendo em vista essas considerações, foram ensaiados diversos casos de carregamento onde as cargas de vento foram combinadas com as cargas de pouso em diferentes posições. Feito isso, tendo em vista os carregamentos propostos, foi possível checar que a estrutura atende aos critérios de escoamento e de estabilidade requeridos pelas regras pertinentes as sociedades classificadoras e entidades normativas, neste caso a DNV e a AISC.

Quanto aos resultados, inicialmente acreditou-se que o maior problema que a estrutura enfrentaria seria em relação aos critérios dos níveis de tensão, em função das cargas do helicóptero atuando diretamente sobre as vigas. Ao longo do estudo, foi observado que as tensões estavam, com certa folga, abaixo dos níveis máximos estipulados. Mas que os critérios de flambagem estavam bem próximos do permitido, chegando em 0.97 em alguns casos, onde o máximo é 1.

Concluindo, pode-se afirmar que a configuração estrutural proposta está de acordo com os critérios de aceitação das normas pertinentes. E apesar dos critérios de flambagem estarem muito próximos de serem extrapolados, as cargas da estrutura foram superestimadas.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Health & Safety Executive HSE – Offshore Helideck Design Guidelines – John Burt Associates Limited / BOMEL Limited;

[2] DNV Offshore Standard – DNV-OS-C201, Structural Design of Offshore Units (WSD Method), April 2012;

[3] MSC Nastran 2004, Reference Manual;

[4] DNV Rules for Classification of Ships, July 2012 – Part 2, Material and Welding – Chapter 2, Metallic Materials;

[5] AISC Manual of Steel Construction – Allowable Stress Design, 9th Edition, June 1989;

[6] DNV Offshore Standard – DNV-OS-E401, Helicopter Decks, April 2011;

[7] Normas da Autoridade Marítima para Homologação de Helipontos Instalados em Embarcações e em Plataforma Marítimas – NORMAM 27/DPC, 2011;

[8] American Petroleum Institute Recommended Practice – API-RP-2L, Recommended Pratice for Planning, Designing and Constructing Heliports for Fixed Offshore Platforms, June 1996;

[9] DNV Recommended Practice – DNV-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads, October 2010;

[10] DNV Rules for Classification of Ships, July 2012 – Part 6, Special Equipment and Systems – Chapter 1, Miscellaneous Notations.

Anexo I – Cargas de Vento

















Anexo II – Cargas de Operação do Helicóptero



























Anexo III – Sikorsky S92

APPENDIX 13 – SIKORSKY S92 - DESIGN INFORMATION

(Aircraft data supplied courtesy of Sikorsky Helicopters - Please note that helidecks designed to facilitate S92 operations should use the higher MAUW to accommodate planned future growth. All other dimensions remain the same)

= 20.88 m
= 11859 kg (t = 11.9) = 12837 kg (t = 12.8)
= 17.33 m
= 12.95 m
= 2.51 m @ Height 1044 mm
= 4.39 m @ Height 1044 to 3236 mm
= 1883 ltrs per min
H1 / H2
Large, 15m x 15m
Starboard Side at Front
Pressure and Gravity
Gravity filling point at each sponson. Pressure connection on port sponson.
Jet A-1
2877 ltrs (760 US galls)
Tricycle

GENERAL DESIGN DATA

UNDERCARRIAGE FOOTPRINT - LOADS FOR PLANNED AIRCRAFT GROWTH (Not to Scale)



Nosewheels (at max fwd C of G): Static Load per u/c Gear: 4592 kg Static Contact Area per Tyre: 265.0 cm² Dynamic Load per u/c Gear: 5970kg Dynamic Contact Area per tyre: 323.3 cm²

Mainwheels (at max aft C of G): Static Load per u/c Gear: 4453 kg Static Contact Area per Tyre: 258.0 cm² Dynamic Load per u/c Gear: 5788 kg Dynamic Contact Area per tyre: 316.7 cm²



GENERAL ARRANGEMENT (Courtesy of Sikorsky Aircraft)

Anexo IV – Chapas de Conexão













Anexo V – Resultados de Tensão

V: Default XY View





Output Set: Estático, Criteria: Beam EndA Max Comb Stress





Output Set: Estático, Criteria: Beam EndA Min Comb Stress



z ×





134.2 119.6 104.9

75.7 61.08 46.46 31.84 17.21 -2.591 -12.03 -26.65 -41.28 -55.9 -70.52 -85.14 -99.77

73.24 60.65 48.06

10.29 -2.302 -14.89 -27.48 -40.07 -52.66 -65.25 -77.84 -90.43 -103.

Output Set: Estático, Criteria: Beam EndB Max Comb Stress

65

V: Default XY View





Output Set: Estático, Criteria: Beam EndB Min Comb Stress





Output Set: ENVELOPE DOC, Criteria: Beam EndA Max Comb Stress



Ţ





73.24 58.09 42.94

12.64 -2.515 -17.67 -32.82 -47.97 -63.12 -78.27 -93.42 -108.6 -123.7 -138.9 -154. -169.2

> 151.7 138.9 126.1

100.4 87.59 74.77 61.95 49.13 36.31 23.49 10.67 -2.149 -14.97

Output Set: ENVELOPE DOC, Criteria: Beam EndA Min Comb Stress

V: Default XY View





Output Set: ENVELOPE DOC, Criteria: Beam EndB Max Comb Stress





Output Set: ENVELOPE DOC, Criteria: Beam EndB Min Comb Stress

V: Default XY View

z





151.7 138.9 126.1

100.4 87.6 74.78 61.97 49.15 36.33 23.51 10.69 -2.124 -14.94 -27.76 -40.58 -53.4

> 41.86 29.71 17.55

-6.749 -18.9 -31.05 -43.2 -55.36 -67.51 -79.66

Output Set: ENVELOPE DEC, Criteria: Beam EndA Max Comb Stress

-104.

V: Default XY View





Output Set: ENVELOPE DEC, Criteria: Beam EndA Min Comb Stress





Output Set: ENVELOPE DEC, Criteria: Beam EndB Max Comb Stress



Ţ





-163. -178.8

74.01 60.9 47.79

8.461 -4.65 -30.87 -43.98 -57.09 -70.2 -83.31 -96.42 -109.5 -122.6 -135.8

173.4 156. 138.7 121.4 104. 86.7 69.36 52.03 34.69 17.36 0.0259

Output Set: ENVELOPE DEC, Criteria: Beam EndB Min Comb Stress

V: Default XY View



Output Set: ENVELOPE EMERGENCY, Criteria: Beam EndA Max Comb Stress

V: Default XY View



186.2 170.9 155.5

124.8 109.5 94.12 78.77 63.43 48.08 32.73 17.39 2.04 -13.31

-28.65 -44. -59.35

V: Default XY View



Output Set: ENVELOPE EMERGENCY, Criteria: Beam EndB Max Comb Stress

V: Default XY View



Output Set: ENVELOPE EMERGENCY, Criteria: Beam EndB Min Comb Stress

186.2 170.9 155.5

124.8 109.5 94.13 78.79 63.44 48.1 32.76 17.41 2.065 -13.28

-28.62 -43.97 -59.31