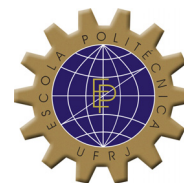




ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA APLICADA E ESTRUTURAS



ANÁLISE DE UM “PIPE-RACK” SUJEITO A CARGAS AMBIENTAIS

JOÃO NICOLAU RUCOS

Projeto de Final de Curso apresentado ao corpo docente do Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado por:

Prof. Gilberto Bruno Ellwanger, D.Sc (Orientador)

Prof. Nelson Szilard Galgoul, Dr-Ing (Orientador)

Prof. Luiz Eloy Vaz, Dr-Ing

Prof. Sérgio Hampshire de Carvalho Santos, D.Sc

Outubro/ 2005

**Dedicado ao meu pai
que tanto me apoiou e amou.**

**Dedicado a minha mãe, minha irmã e meu irmão
pelo constante apoio.**

Dedicado a toda mimha família e aos meus amigos.

Dedicado a todos os bons professores e colegas de trabalho.

1 - RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar os cálculos, metodologia e resultados da análise estrutural de um “Pipe-Rack” idealizado pertencente a uma embarcação do tipo FPSO (Floating Production Storage and Offloading) que estará sujeita a carregamentos de estado de mar.

A partir de um projeto desenvolvido na empresa Suporte Consultoria e Projetos teve-se a idéia de ligar os aspectos teóricos que cercavam a análise de uma estrutura localizada em uma embarcação FPSO e com isso escrever este trabalho. Enfatizou-se os carregamentos provocados pelo estado de mar que para as estruturas usuais não ocorrem. Suas formulações são comentadas no item 5.3.

A análise estrutural leva em conta as maiores tensões sob as quais a estrutura estará sujeita, sendo que a plataforma idealizada terá uma vida útil de 5 anos antes de sofrer uma outra reforma.

A análise estrutural do “Pipe-Rack”, incluindo as verificações de tensão, foram feitas utilizando o programa SACS.

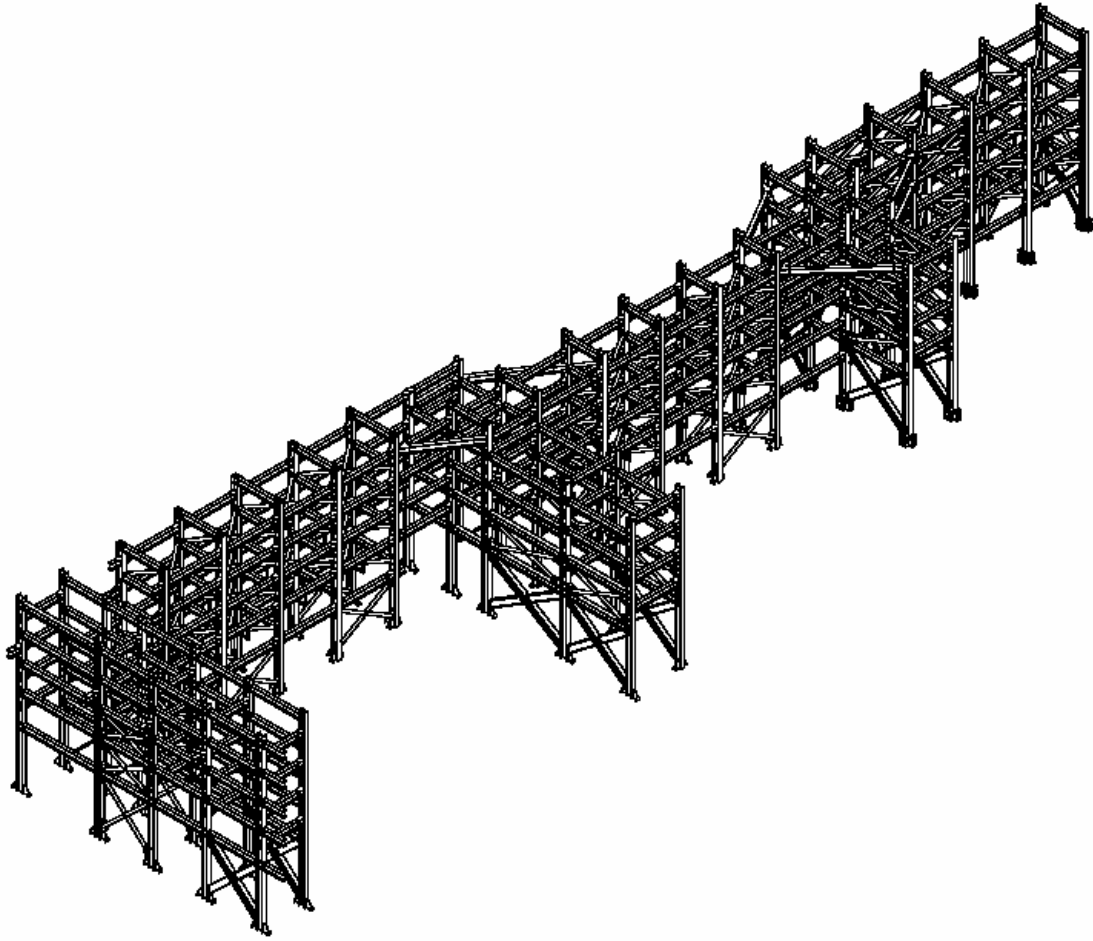


Figura 1a – “Pipe-Rack”

SUMÁRIO

2 – GLOSSÁRIO.....	6
3 - INTRODUÇÃO.....	8
4 – DADOS BÁSICOS E CONSIDERAÇÕES DE PROJETO.....	10
4.1- SISTEMA DE COORDENADAS	10
5.2 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS – VENTO	12
4.3 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MOVIMENTOS DO NAVIO DEVIDOS AOS ESTADOS DE MAR	18
5 – ANÁLISE ESTRUTURAL DO “PIPE-RACK”	28
5.1 – MODELO DO “PIPE-RACK”	28
6 – DADOS DO CARREGAMENTO	32
6.1 – CARREGAMENTOS BÁSICOS.....	32
6.2 – CARREGAMENTOS COMBINADOS.....	39
7 – RESULTADOS DA ANÁLISE	45
7.1 – FUNDAÇÕES DO “PIPE-RACK”	47
7.2 – DESLOCAMENTOS.....	58
7.3 – VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES	59
8 - CONCLUSÃO	61
9- REFERÊNCIAS	62
9.1 NORMAS UTILIZADAS.....	62
ANEXO 1.....	63
ANEXO 2.....	66
ANEXO 3.....	68

2 – GLOSSÁRIO

- **“Pipe-Rack”** – Estrutura que apóia boa parte das tubulações e calhas elétricas que são usadas nas etapas de processo do petróleo.

- **Skid** – Estrutura que apóia equipamentos que são utilizados durante as etapas de processo do petróleo, normalmente é construída independente do navio e posteriormente içadas e colocadas nas suas locação.

- **Deck** – Piso formado por vigas e chapas. Recebe boa parte das estruturas utilizadas na embarcação, descarregam as cargas recebidas nas cavernas.

- **Pancake** – É o deck principal onde se apoia o “Pipe-Rack” e a maioria dos skids.

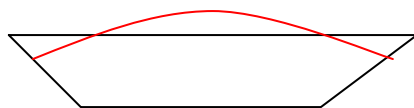
- **Cavernas** – Conjunto de chapas enrijecidas que recebe os carregamentos das estrututas dos navio. Vão do costado até o fundo do navio.

- **API** – American Petroleum Institute – Entidade americana que elabora e desenvolve as recomendações de projeto para a indústria do petróleo, principalmente para a construção de jaquetas.

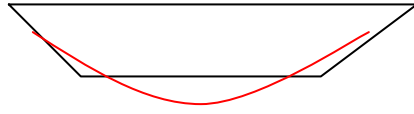
- **AWS** – American Welding Society – Entidade americana que elabora as recomendações para procedimento, simbologia, inspeção e execução de soldas.

- **AISC** – American Institute of Steel Construction – Entidade americana que elabora as recomendações para execução e projeto de estruturas metálicas.

- **Hogging** – Deformação de alquebramento do navio, concavidade para baixo, é um caso de deformação de viga navio



- **Sagging** – Deformação de tosamento do navio, concavidade para cima, é um caso de deformação de viga navio



3 - INTRODUÇÃO

Através da descoberta de petróleo em lâminas d'água cada vez mais profundas surgiu a necessidade de, além de produzir, escoar a produção considerando as distâncias da costa e a profundidade do mar.

Para atender a estes desafios surgiu a alternativa dos FPSO's ("Floating Production Storage Offloading"). Este tipo de unidade estacionária de produção consiste na utilização de um navio ancorado, que suporta no seu convés uma planta de processo, armazena o óleo produzido e ainda permite o escoamento da produção para outro navio, chamado aliviador, que é periodicamente amarrado no FPSO para receber e transportar o óleo até os terminais petrolíferos.

A FPSO do presente trabalho é composta por um Ponto Simples de Ancoragem, "SPM" ("Single Point Mooring") do tipo "Turret" interno com ancoragem convencional. Este sistema caracteriza-se por permitir que o navio gire livremente ao redor das linhas de ancoragem e risers e fique orientado na direção das cargas ambientais, reduzindo, por conseguinte, a atuação destas na estrutura.

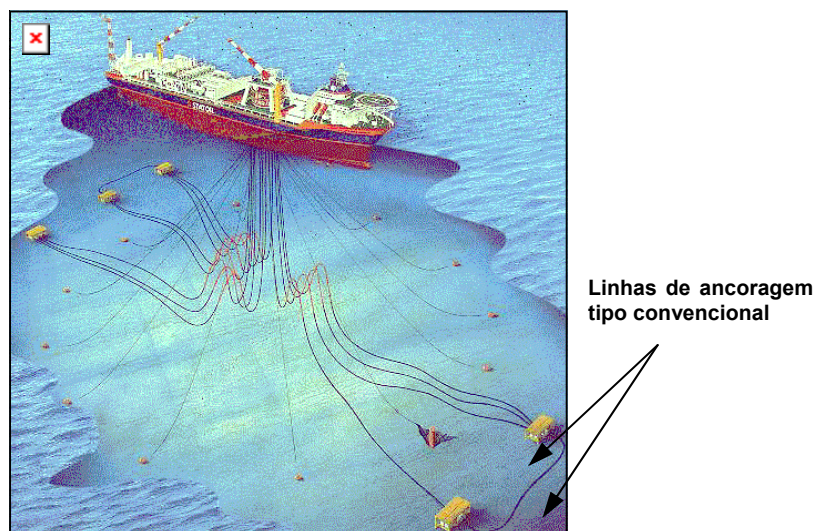


Figura 3a – FPSO com ancoragem convencional.

O “Pipe-Rack” presente na embarcação irá suportar grande parte da tubulação da embarcação, e servirá como ponto de apoio de outras estruturas primárias, tais como os skids, os quais suportam equipamentos usados no sistema de processo.

Além disso, acima do “Pipe-Rack” foi idealizada uma passarela que ficará apoiada no mesmo.

Por sua vez a fundação do “Pipe-Rack” está apoiada no “deck” principal da embarcação, conhecido como pancake, e para se levar em conta a contribuição da rigidez desta estrutura na matriz global ela foi modelada em conjunto com o “Pipe-Rack”.

Já o “pancake” está apoiado em um conjunto de chaparias, denominadas cavernas, que vão do costado até o fundo da embarcação. Para fins de modelagem essas estruturas foram consideradas como vigas, sendo que as suas propriedades geométricas são equivalentes as das cavernas.

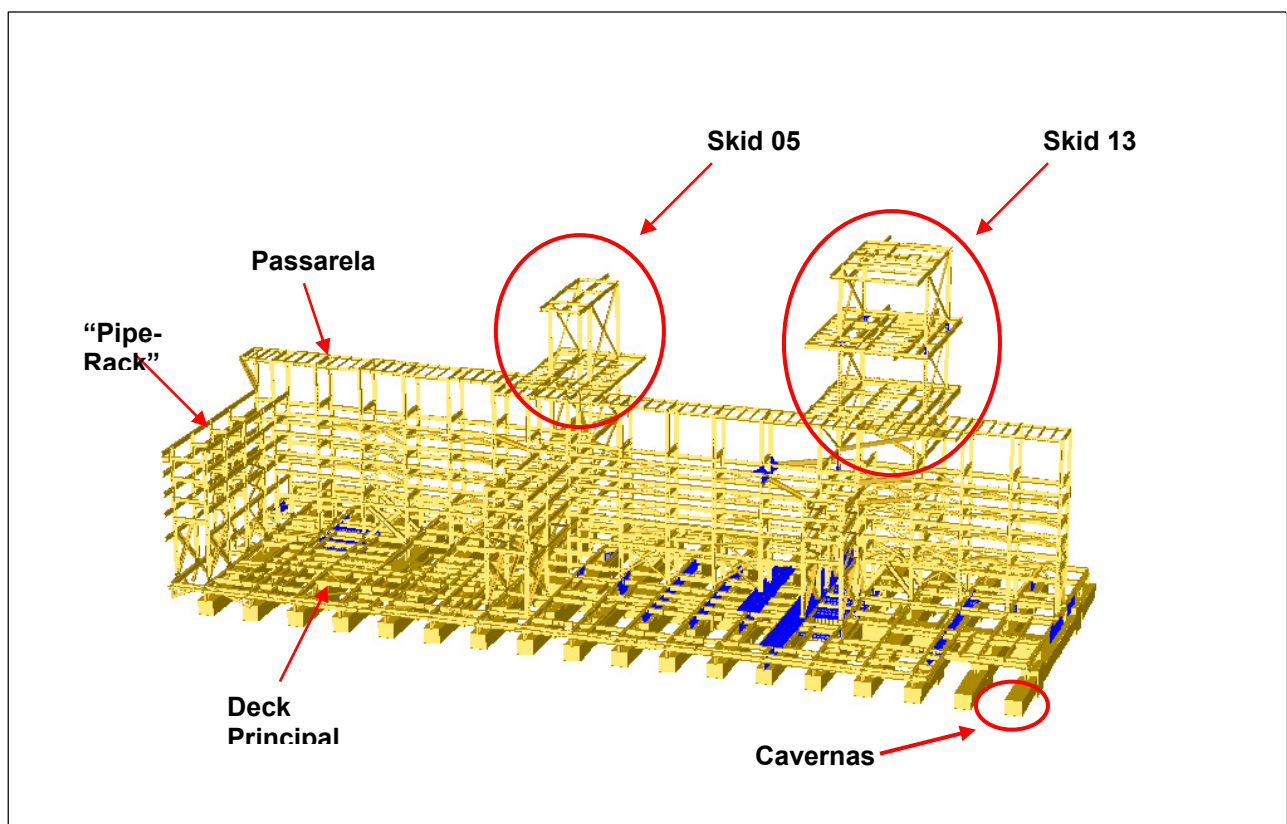


Figura 3b – Modelo Global

4 – DADOS BÁSICOS E CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

4.1- SISTEMA DE COORDENADAS

A figura abaixo ilustra o sistema de coordenadas adotado.

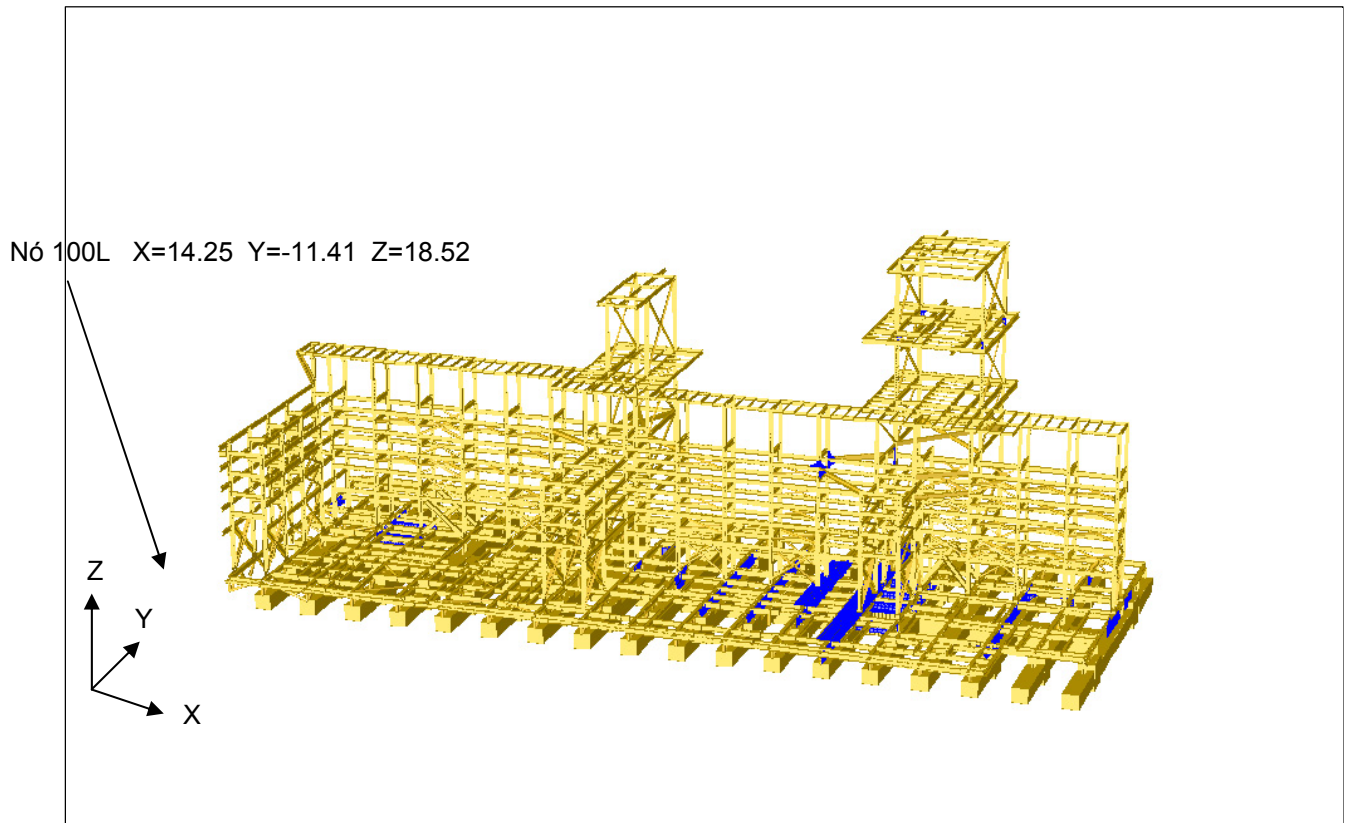
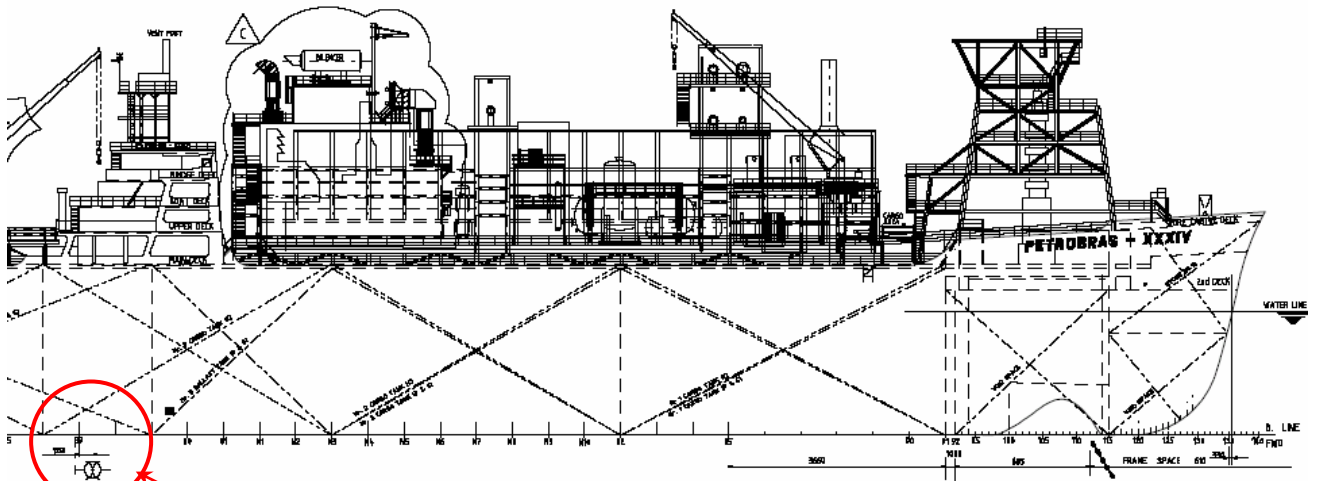


Figura 4.1a – Coordenadas do modelo

A origem do sistema de coordenadas (0,0,0) passa pela linha de centro distando 1350 mm da caverna 77, como pode ser visto nas figuras 4.1b e 4.1c.

Essas coordenadas serão de grande importância para o cálculo das forças geradas pelo movimento da embarcação, que aumentarão à medida que se distanciam do centro de rotação do navio.

Além disso, as estruturas da embarcação estarão sujeitas a deslocamentos provenientes da deformação de viga-navio que é composta de duas curvaturas distintas “hogging”, concavidade para baixo, e “sagging”, concavidade para cima.



Veja o detalhe na outra figura

Figura 4.1b – Origem do Modelo

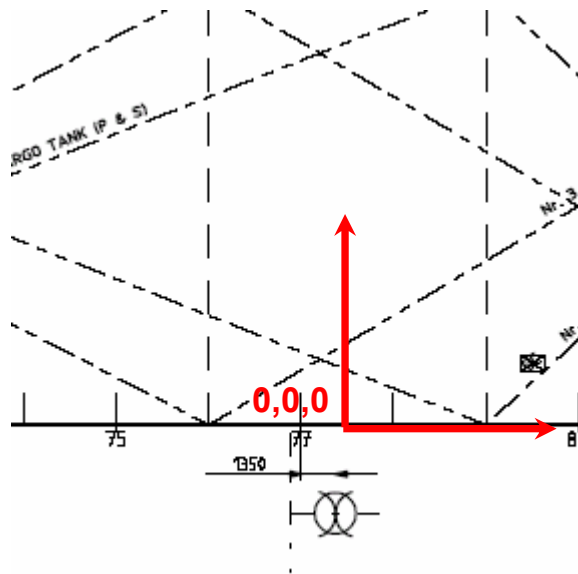


Figura 4.1c – Ponto de Origem do Modelo

4.2 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS – VENTO

As forças devidas ao vento foram automaticamente geradas pelo módulo Seastate do sistema SACS.

Para simular as condições de operação e tormenta, são mostradas abaixo as respectivas velocidades de vento consideradas na análise, sendo que foram retiradas de um quadro de dados meteorológicos da bacia de Campos, mostrado na Tabela 4.2a, onde supostamente a plataforma iria operar.

Esses dados são para rajadas de duração de 10 minutos. Para a avaliação dos efeitos estáticos devido ao vento segundo recomenda a DNV deve-se utilizar velocidades de vento de durações de 5 segundos. Para isso têm-se um fator de correção mostrado a seguir.

$$V_{1\text{-ano}} = 19,63\text{m/s} \times 1,225 = 24,04 \text{ m/s} \quad (\text{Condição de Operação})$$

$$V_{50\text{-anos}} = 28,75\text{m/s} \times 1,225 = 35,21 \text{ m/s} \quad (\text{Condição de Tormenta})$$

Seguindo a recomendação da especificação técnica “Structural Requirements” [ref 5] (anexo 2) para a condição de operação foi utilizado dados meteorológicos para um tempo de recorrência de 1 ano, já na condição de tormenta o tempo de recorrência considerado foi de 50 anos.

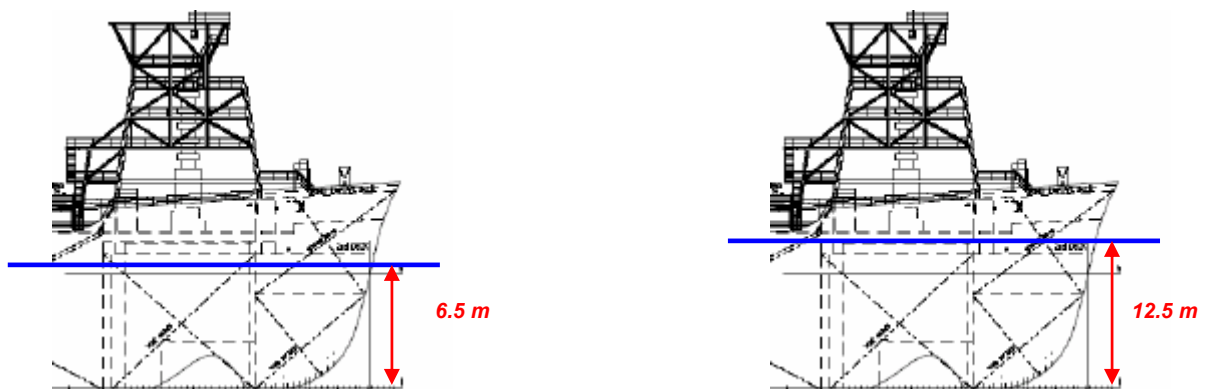
DIREÇÃO / VELOCIDADE	TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)					
	1	10	20	30	50	100
N	19.63	23.35	24.75	25.58	27.61	29.01
NE	19.19	23.34	24.86	25.76	26.89	28.42
E	16.92	18.75	19.21	19.77	20.78	21.18
SE	15.85	21.26	23.14	24.25	25.63	27.01
S	18.81	23.90	25.99	27.21	28.75	30.84
SW	19.01	23.30	25.29	25.46	27.93	29.98
W	16.05	22.12	24.23	25.46	27.01	29.11

NW	13.14	17.41	18.96	19.86	21.00	22.54
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabela 4.2a – Velocidades de vento para cada período de recorrência e direção de incidência.

A pressão devida ao vento foi calculada baseada nos critérios definidos na API RP2A que incluem a correção no perfil das velocidade de vento de acordo com a altura em que se localiza o elemento estrutural.

Além disso, estimou-se que o navio teria um calado médio para operação de 6,5m, e um calado médio para tormenta de 12,5m, a partir dos dados da especificação técnica (anexo 3), “Naval Requirements” [ref 6].



A fórmula na qual o SACS se baseia para corrigir a velocidade de referência segundo um coeficiente de altura, C_h , é encontrada na norma API RP2A.

$$V_z = V_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Onde:

- para condição de operação:

$$V_r = 24,04 \text{ m/s}$$

$$z_r = 10 \text{ m}$$

$z =$ (coordenada z do elemento – calado de operação de 6,5m)

$xx = 8$ (esse valor adimensional varia de 7 a 13, e a API RP2A recomenda que quando não se tem informações mais precisas utilizar o fator 8)

- para condição de tormenta:

$$V_r = 35,21 \text{ m/s}$$

$$z_r = 10 \text{ m}$$

$z =$ (coordenada z do elemento – calado de tormenta de 12,5m)

$xx = 8$ (esse valor adimensional varia de 7 a 13, e a API RP2A recomenda que quando não se tem informações mais precisas utilizar o fator 8)

Para se chegar a pressão devida ao vento, o programa utiliza a seguinte fórmula :

$$p = 0.00338 V^2 C_h C_s$$

Onde fazendo as devidas conversões de unidades:

$p =$ pressão (lbs/ft²)

$V =$ velocidade de referência (nós)

$C_h =$ coeficiente de altura

$C_s =$ coeficiente de forma, que como recomenda a API RP2A, é igual a 0,5 para membros tubulares e 1,5 para outros membros e placas.

A força devida ao vento, é calculado segundo a recomendação da API RP2A:

$$F = pA \sin \alpha$$

Onde:

A = área projetada do membro ou placa normal a direção do vento:

α = ângulo entre a direção do vento e o eixo do membro ou plano da placa

Além disso, para considerarmos as forças devidas ao vento aplicadas em elementos não modelados tais como, tubulações e equipamentos. Foram consideradas áreas de obstrução que têm seus centros de gravidade locados próximos a esses elementos, então a partir disso, informa-se ao modelo alguns nós próximos a essas áreas de obstrução. E com um sistema equivalente (forças e momentos) as forças devidas ao ventos que seriam aplicadas aos elementos não modelados são transferidas das áreas de obstrução aos nós do modelo.

Como as áreas de obstrução já estavam majoradas foi aplicado um coeficiente de forma (C_s) de 1.0.

A título de ilustração a Tabela 4.2b apresenta algumas das áreas de obstrução consideradas no modelo.

ITEM	ÁREA		C.G			Fator de Forma	Nós de Aplicação das Forças de Vento	Tipo de Área
	X(m2)	Y(m2)	X(m)	Y(m)	Z(m)			
1	0.7		15.68	-7.91	25.16	1.00	100F 5106 100G	Retang
2		0.6	15.68	-7.91	25.16	1.00	100F 5106 100G	Retang
3	2.1		15.68	-7.91	26.95	1.00	100J 510W 100K	Retang
4		1.7	15.68	-7.91	26.95	1.00	100J 510W 100K	Retang
1A	2.1		15.68	-7.91	28.56	1.00	4297 510X 506F	Retang
5	0.7		15.68	-4.51	25.16	1.00	99Z 510G 1000	Retang
6		0.6	15.68	-4.51	25.16	1.00	99Z 510G 1000	Retang
7	2.1		15.68	-4.51	26.95	1.00	1003 510Y 1004	Retang
8		1.7	15.68	-4.51	26.95	1.00	1003 510Y 1004	Retang

2A	2.1		15.68	-4.51	28.56	1.00	4299 510Z 506H	Retang
2B		1.7	15.68	-4.51	28.56	1.00	4299 510Z 506H	Retang
9	0.9		15.68	-1.11	25.16	1.00	99J 510L 99K	Retang
10		0.6	15.68	-1.11	25.16	1.00	99J 510L 99K	Retang
11	2.6		15.68	-1.11	26.95	1.00	99N 99O 5110	Retang
12		1.7	15.68	-1.11	26.95	1.00	99N 99O 5110	Retang
3A	2.6		15.68	-1.11	28.56	1.00	506D 5111 506J	Retang
3B		1.7	15.68	-1.11	28.56	1.00	506D 5111 506J	Retang
13	0.5		15.68	3.86	25.16	1.00	993 994 510Q	Retang
14		0.6	15.68	3.86	25.16	1.00	993 994 510Q	Retang
15	1.5		15.68	3.86	26.95	1.00	997 5112 506K	Retang
16		1.7	15.68	3.86	26.95	1.00	997 5112 506K	Retang
4A	1.5		15.68	3.86	28.56	1.00	509I 5113 509J	Retang
4B		1.7	15.68	3.86	28.56	1.00	509I 5113 509J	Retang
17	1.7		20.61	2.50	24.55	1.00	152 151 174	Retang
18		2.3	20.61	2.50	24.55	1.00	152 151 174	Retang
19	0.9		20.61	2.50	26.00	1.00	155 156 190	Retang
20		2.3	20.61	2.50	26.00	1.00	155 156 190	Retang
N3	1.0		79.17	2.50	29.23	1.00	879 880 883	Retang
O3		0.7	79.17	2.50	29.23	1.00	879 880 883	Retang
SS	19.6		40.06	6.56	33.40	1.00	413L 413K 413P	Retang
SZ		11.4	40.06	6.56	33.40	1.00	413L 413K 413P	Retang
TS	21.0		64.60	7.01	33.40	1.00	415V 415U 4160	Retang
TZ		14.4	64.60	7.01	33.40	1.00	415U 415V 4160	Retang
US	21.0		64.60	7.01	38.80	1.00	415W 415X 4162	Retang
UZ		14.4	64.60	7.01	38.80	1.00	415W 415X 4162	Retang
PP	7.2		53.55	0.00	33.60	1.00	423X 4243 4244	Retang
QQ		21.6	53.55	0.00	33.60	1.00	423X 4243 4244	Retang

Tabela 4.2b – Áreas de obstrução incluídas no modelo

As figuras 4.2a e 4.2b mostram as direções de vento consideradas na análise, 0° e 90° .

LOAD CONDITION 3
WIND
DIRECTION 0.000 (deg)
VELOCITY 19.630 (mps)

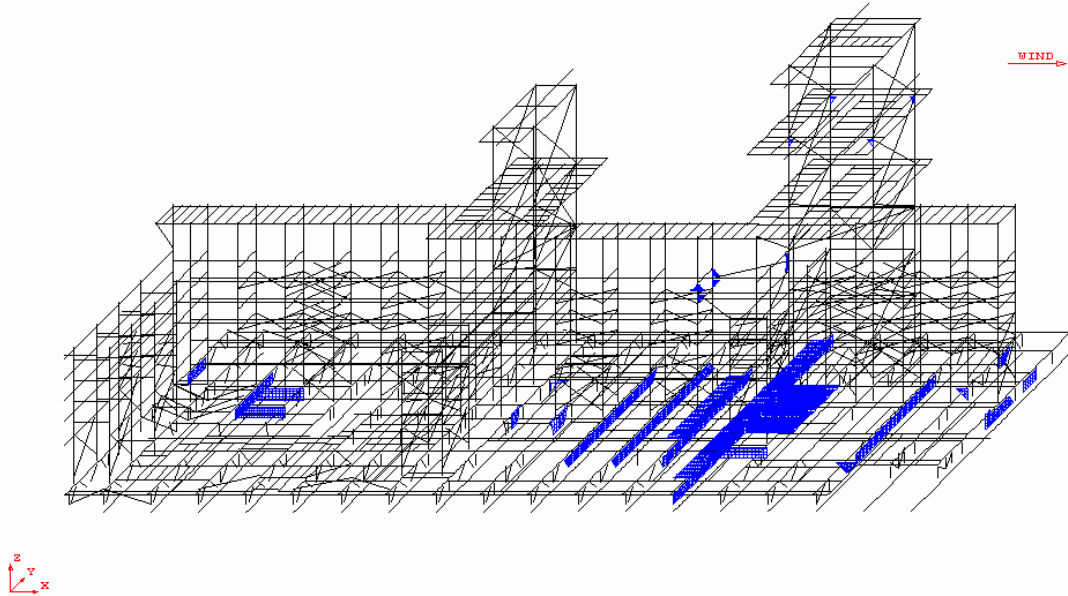


Figura 4.2a – Direção da velocidade de vento 0°

LOAD CONDITION 4
WIND
DIRECTION 90.000 (deg)
VELOCITY 19.630 (mps)

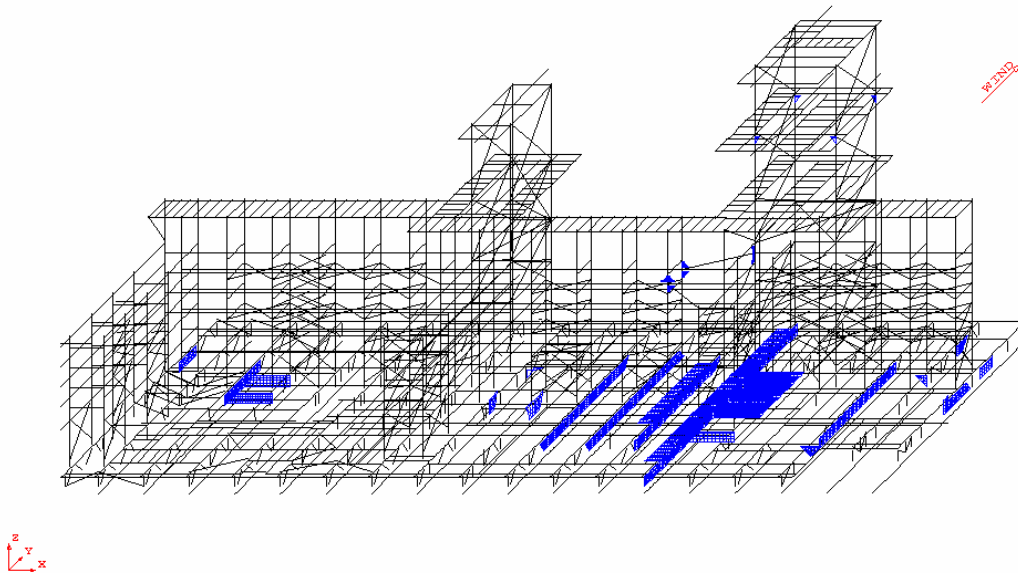


Figura 4.2b – Direção da velocidade de vento 90°

4.3 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MOVIMENTOS DO NAVIO DEVIDOS AOS ESTADOS DE MAR

As forças que aparecem na estrutura devidas aos movimentos da embarcação provocados pelos estados de mar foram geradas usando o módulo SACSTOW (cujo desenvolvimento teórico se encontra no anexo 1) do sistema SACS. Esse módulo de cálculo utiliza os aspectos teóricos mostrados neste item.

Foram estipulados para o local hipotético onde a plataforma iria operar valores máximos do deslocamento angular e do período correspondente para os movimentos da embarcação. em torno do eixo longitudinal (“roll motion”, ver figura 5.3b) em torno do eixo transversal (“pitch motion”, ver figura 4.3b).

Além disso, foi estipulada a aceleração para o movimento vertical da embarcação (“heave”, ver figura 4.3b) todos eles induzidos pelo estado de mar da região de locação da plataforma, sendo que, assim como no caso de carregamento de vento foram consideradas para efeito de projeto condições de operação e tormenta.

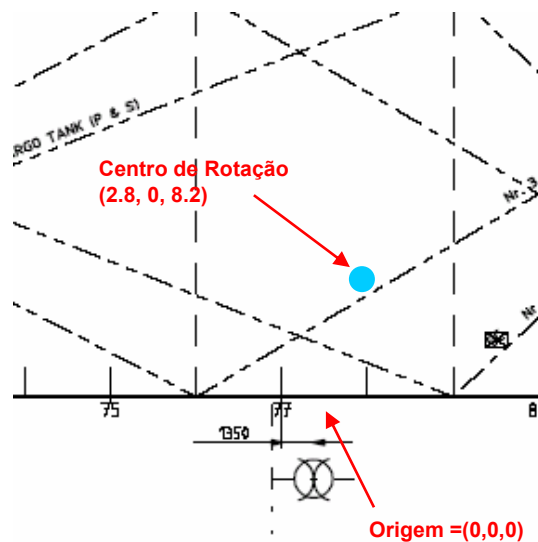


Figura 4.3a – Visualização da origem e do centro de rotação

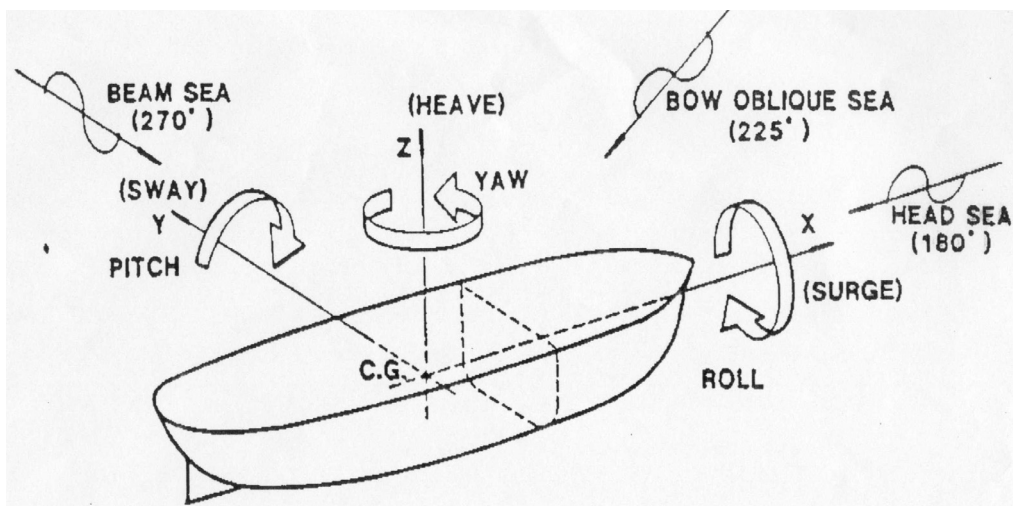


Figura 4.3b – Visualização dos movimentos em torno do centro de rotação

Os valores indicados abaixo são referentes ao centro de rotação da embarcação

Dados do movimento em torno do eixo longitudinal (“roll motion”), amplitude do deslocamento angular máximo e período [ref 6]:

	θ_{ROLL} (graus)	T_{ROLL} (sec)
Tormenta	25.3	13.5
Operação	12.1	14.2

Tabela 4.3a – Velocidade Angular e período para o “roll motion”

Dados do Movimento em torno do eixo Transversal (“pitch motion”), amplitude do deslocamento angular e período [ref 6].

	θ_{PITCH} (graus)	T_{PITCH} (sec)
Tormenta	4.3	13.1
Operação	3.4	11.9

Tabela 4.3b – Velocidade Angular e período para o “pitch motion”

Aceleração Vertical (Heave) [ref 6].

	A_{HEAVE} (m/s²)
Tormenta	1.64
Operação	0.66

Tabela 4.3c – Aceleração Vertical (Heave)

Coordenadas do centro de rotação em relação a origem [ref 6].

	X	Y	Z
CoG	2.8	0.0	8.2

Tabela 4.3d – Coordenadas do centro de rotação

Para ilustrar como o SACS faz os cálculos das cargas de estado de mar relacionaremos as grandezas lineares com as grandezas angulares.

$$s = \theta.r$$

Onde:

s = deslocamento linear de um corpo em movimento circular

θ = ângulo medido em radianos

r = distância em relação ao centro de rotação

Logo a velocidade linear será:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d\theta.r}{dt} = \omega.r$$

Onde:

$\omega = \text{velocidade angular}$

Sendo assim a aceleração linear tangencial será:

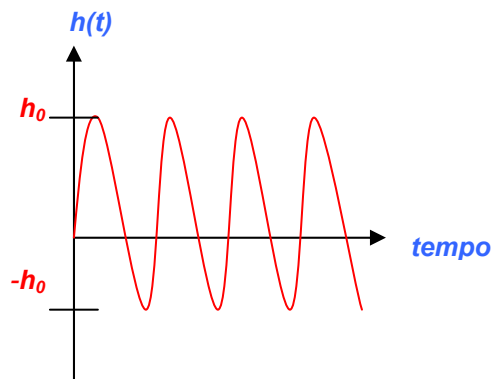
$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d\omega \cdot r}{dt} = \alpha \cdot r$$

Onde:

$\alpha = \text{aceleração angular}$

Considerando que o deslocamento vertical (*HEAVE MOTION*) do navio induzido pelo estado de mar pode ser representado por uma função harmônica no tempo do tipo:

$$h(t) = h_0 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$



Onde:

$h_0 = \text{amplitude do movimento vertical}$

$$\omega = \text{freqüência angular} = \frac{2\pi(\text{rad})}{T}$$

$T = \text{período para o movimento vertical (heave)}$

A aceleração linear será então, a segunda derivada do deslocamento que é:

$$\ddot{h}(t) = -h_0 \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Logo como a força, $F = m.a$:

$$F_{HEAVE} = m \cdot -h_0 \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega.t)$$

Como a força provocada pelo movimento vertical é senoidal em função do tempo, para efeito de projeto considera-se apenas o valor máximo.

E sendo:

$P =$ Contribuição de peso dos elementos na zona de influência do nó considerado

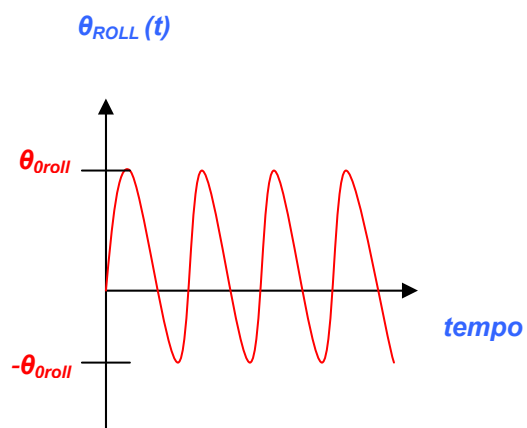
$g =$ aceleração da gravidade

$$F_{HEAVE} = \frac{P}{g} \cdot -h_0 \cdot \left\{ \frac{2\pi}{T} \right\}^2$$

As acelerações verticais máximas já foram informadas nos dados de entrada do modelo. E são 1.64 m/s^2 para condição de tormenta e 0.66 m/s^2 para operação.

Assim como para deslocamento vertical (*HEAVE MOTION*) do navio induzido pelo estado de mar, o deslocamento angular em torno do eixo longitudinal ("*ROLL MOTION*") pode ser representado por uma função harmônica no tempo do tipo:

$$\theta_{ROLL}(t) = \theta_{0roll} \cdot \text{sen}(\omega.t)$$



Onde:

$\theta_{0roll} =$ amplitude angular do movimento em torno do eixo longitudinal; no caso do modelo analisado é 25.3° para condição de tormenta e 12.1 para condição de operação

$$\omega = \text{freqüência angular} = \frac{2\pi(\text{rad})}{T}$$

T = período do movimento harmônico para o movimento angular em torno do eixo longitudinal (“ROLL MOTION”);, no caso do modelo analisado é 13.5 segundos para a condição de tormenta e 14.2 segundos para a condição de operação.

A aceleração angular será então a segunda derivada do deslocamento angular que é:

$$\ddot{\theta}_{ROLL}(t) = -\theta_{0roll} \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Como já foi mostrado acima, a relação entre a aceleração angular e a aceleração tangencial nos fornece:

$$a_{t, roll} = \alpha \cdot r$$

Onde:

$$\alpha = \text{aceleração angular} = -\theta_{0roll} \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

r = distância do c.g. do elemento até o centro de rotação

Com isso a_t é:

$$a_{t, roll} = -\theta_{0roll} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Logo como a força, $F = m \cdot a$:

$$F_{ROLL} = m \cdot -\theta_{0roll} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Como a força provocada pelo movimento angular em torno do eixo longitudinal é senoidal em função do tempo, para efeito de projeto considera-se apenas o valor máximo.

E sendo:

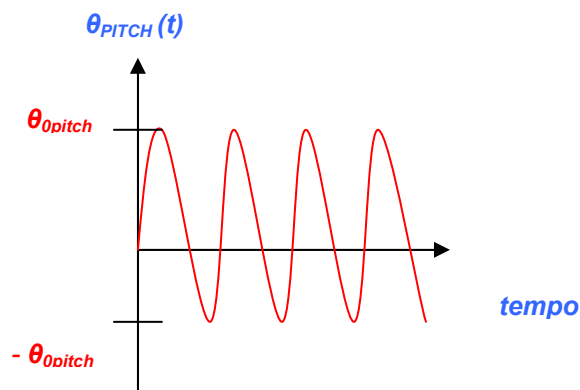
P = Contribuição de peso dos elementos na zona de influência do nó considerado

g = aceleração da gravidade

$$F_{ROLL} = \frac{P}{g} \cdot -\theta_{roll} \cdot r \cdot \left\{ \frac{2\pi}{T} \right\}^2$$

O deslocamento angular em torno do eixo transversal (“*PITCH MOTION*”) também pode ser representado por uma função harmônica em função do tempo do tipo:

$$\theta_{PITCH}(t) = \theta_{0pitch} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$



Onde:

θ_{0pitch} = amplitude angular do movimento em torno do eixo transversal; no caso do modelo analisado é 4.3^0 para condição de tormenta e 3.4^0 para condição de operação

$$\omega = \text{frequência angular} = \frac{2\pi(\text{rad})}{T}$$

T = período do movimento harmônico para o movimento angular em torno do eixo longitudinal (“*PITCH MOTION*”); no caso do modelo analisado é 13.1 segundos para a condição de tormenta e 11.9 segundos para a condição de operação.

A aceleração angular será então a segunda derivada do deslocamento angular que é:

$$\ddot{\theta}_{PITCH}(t) = -\theta_{0pitch} \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Como já foi mostrado acima, a relação entre a aceleração angular e a aceleração tangencial nos fornece:

$$a_{t, pitch} = \alpha \cdot r$$

Onde:

$$\alpha = \text{aceleração angular} = -\theta_{0pitch} \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

r = distância do c.g. do elemento até o centro de rotação

Com isso a_t é:

$$a_{t, pitch} = -\theta_{0pitch} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Logo como a força, $F = m \cdot a$:

$$F_{PITCH} = m \cdot -\theta_{0pitch} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

Como a força provocada pelo movimento angular em torno do eixo transversal é senoidal em função do tempo, para efeito de projeto considera-se apenas o valor máximo.

E sendo:

P = Contribuição de peso dos elementos na zona de influência do nó considerado

$g = \text{aceleração da gravidade}$

$$F_{PITCH} = \frac{P}{g} \cdot -\theta_{pitch} \cdot r \cdot \left\{ \frac{2\pi}{T} \right\}^2$$

A partir do exposto acima podemos avaliar as acelerações angulares calculadas em planilha eletrônica com os dados de saída do SACS (mostrado na tabela 4.3e).

Avaliação das acerações angulares geradas pelo estado de mar				
Caso	Descrição	Desl. Ang máx (graus)	Período (seg)	Acel. Ang (graus/seg2)
7	- Roll de operação com Heave de operação	12,1	14,2	-2,4
8	+ Roll de operação com Heave de operação	-12,1	14,2	2,4
9	- Pitch de operação com Heave de operação	3,4	11,9	-0,9
10	+ Pitch de operação com Heave de operação	-3,4	11,9	0,9
11	- Roll de tormenta com Heave de tormenta	25,3	13,5	-5,5
12	+ Roll de tormenta com Heave de tormenta	-25,3	13,5	5,5
13	- Pitch de tormenta com Heave de tormenta	4,3	13,1	-1,0
14	+ Pitch de tormenta com Heave de tormenta	-4,3	13,1	1,0

Tabela 4.3e – Acelerações angulares correspondentes a cada caso de carga

A partir das distâncias dos nós da estrutura em relação ao centro de rotação o módulo SACSTOW avaliou as acelerações lineares correspondentes aos movimento de roll e pitch, com estas as forças aplicadas nos elementos.

Portanto deu-se a devida atenção na locação da estrutura em relação ao ponto estabelecido com origem da embarcação, pois, assim como foi exposto acima, as acelerações lineares dependiam das distâncias em relação ao centro de rotação.

As forças, por conseguinte, eram calculadas em função da distância do cg do elemento ao centro de rotação da embarcação, e eram aplicadas como carregamento uniforme distribuído ao longo do elemento

A tabela abaixo foi retirada da saída do programa SACS e contém o somatório dos carregamentos devidos ao estado de mar.

* * D Y N A M I C L O A D I N G S U M M A T I O N * * *
(MOMENTS ABOUT SACS ORIGIN)

LOAD CASE	* JACKET POSITION *			** ANGULAR ACCEL **			*** TRANS ACCEL ***			**** FORCE SUMMATION ****			***** MOMENT SUMMATION		
	ROLL	PITCH	YAW	ROLL	PITCH	YAW	SURGE	SWAY	HEAVE	SURGE	SWAY	HEAVE	ROLL	PITCH	YAW
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	(DEG)	(DEG)	(DEG)	(DEG/SEC**2)	(DEG/SEC**2)	(DEG/SEC**2)	(G)	(G)	(G)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN-M)	(KN-M)	(KN-M)
1	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.000	-0.210	0.045	0.0	4388.0	-761.0	-115113.3	38066.7	212286.5
2	0.0	0.0	0.0	-2.4	0.0	0.0	0.000	0.210	0.045	0.0	-4388.0	-638.3	113809.7	29232.0	-212286.5
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.059	0.000	0.065	-1371.9	0.0	174.6	749.1	-53353.4	1544.1
4	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	0.0	-0.059	0.000	0.065	1371.9	0.0	-2213.0	-2648.2	151391.9	-1544.1
5	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.000	-0.427	0.071	0.0	9251.9	-1252.5	-243247.3	63628.6	447834.7
6	0.0	0.0	0.0	-5.5	0.0	0.0	0.000	0.427	0.071	0.0	-9251.9	-968.6	241180.5	43191.6	-447834.7
7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.075	0.000	0.164	-1636.2	0.0	-1319.2	-616.9	11396.7	1801.9
8	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-0.075	0.000	0.164	1636.2	0.0	-3810.9	-4162.3	235335.0	-1801.9

Tabela 4.3f – Carregamentos devidos ao estado de mar

5 – ANÁLISE ESTRUTURAL DO “PIPE-RACK”

5.1 – MODELO DO “PIPE-RACK”

A estrutura foi modelada usando o método dos elementos finitos, com barras e placas delgadas. As figuras 5.1a e 5.1b apresentam o modelo utilizado na análise incluindo as estruturas modeladas em conjunto com o “Pipe-Rack”, especificadas no item 3.

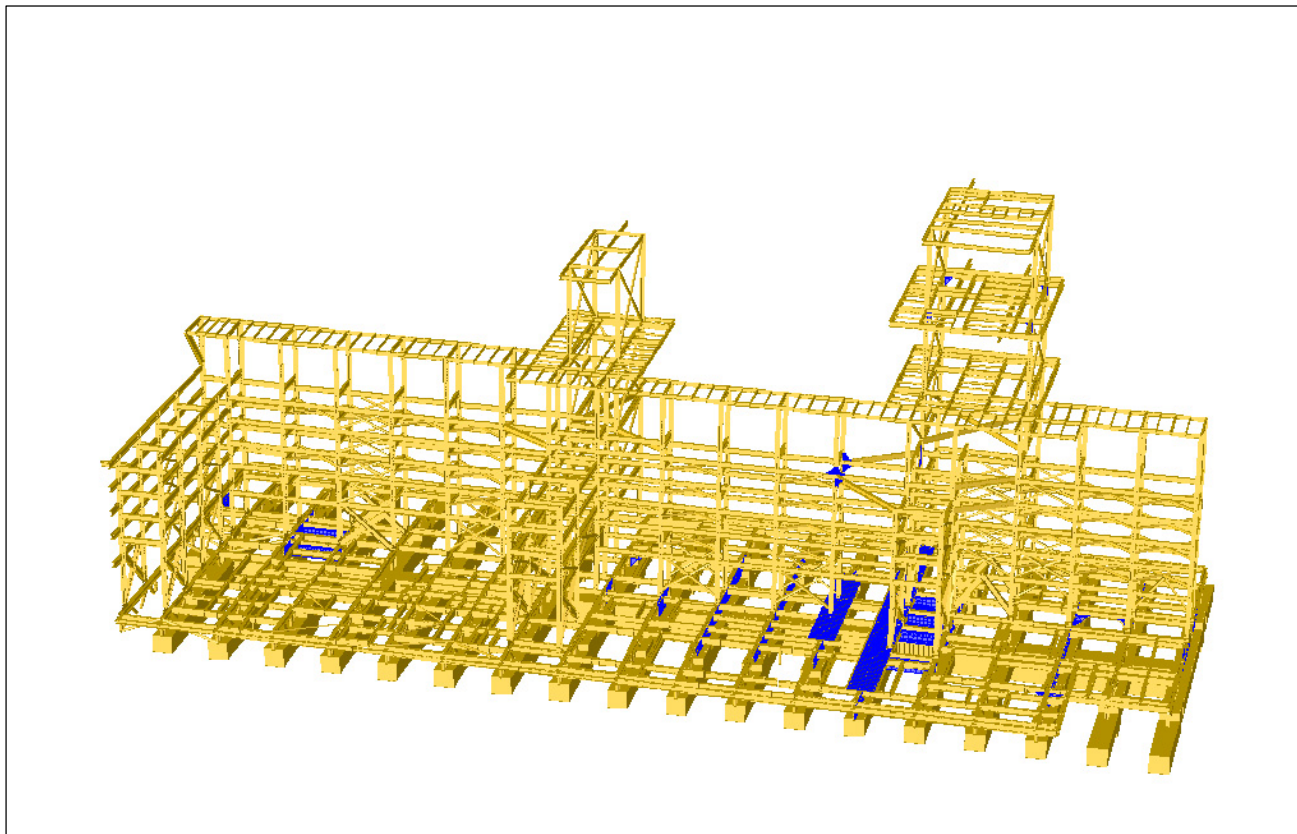


Figura 5.1a – Modelo da Análise – Vista Global

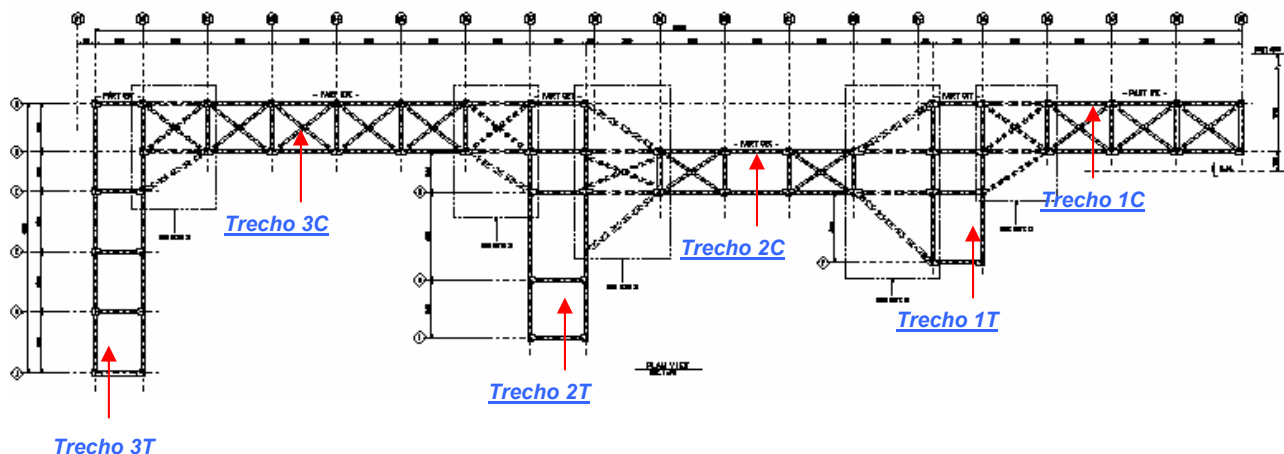


Figura 5.1b – Vista em planta do “Pipe-Rack” e seus trechos

A tabela abaixo apresenta as propriedades dos membros do “Pipe-Rack”.

WIDE FLANGE/WIDE FLANGE COMPACT, MEMBER PROPERTIES																		
GRP	M/S	JNT	**	FLANGE	**	WEB	FILET	E	G	AXIAL	****	MOMENTS OF INERTIA	****	YIELD	KY	KZ	FLANGE	SECT
				THK	THICK	WIDTH	THICK	RAD.	DEPTH	1000	1000	AREA	X-X	Y-Y	Z-Z	STRESS	BRACE	LEN
				M	CM	CM	CM	CM	CM	KN/CM2	KN/CM2	CM**2	CM**4	CM**4	CM**4	KN/CM2	M	M
10A	1	0.0	1.60	30.00	1.250	1.250	39.00	20.0	8.0	140.8	112.6	0.3837E+05	7206.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
150	1	0.0	0.49	10.00	0.430	0.430	14.80	20.0	8.0	15.74	1.246	596.5	81.76	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
COL	1	0.0	1.99	25.60	1.140	1.140	36.00	20.0	8.0	138.4	155.0	0.3262E+05	5568.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
CTR	1	0.0	1.99	25.60	1.140	1.140	36.00	20.0	8.0	138.4	155.0	0.3262E+05	5568.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
P01	1	0.0	2.50	30.00	1.600	1.600	39.00	20.0	8.0	204.4	379.2	0.5528E+05	0.1126E+05	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P02	1	0.0	1.60	25.00	0.950	0.950	39.00	20.0	8.0	114.0	80.86	0.3162E+05	4169.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P03	1	0.0	0.95	20.00	0.630	0.630	39.00	20.0	8.0	61.37	15.02	0.1644E+05	1267.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P09	1	0.0	1.25	20.00	0.950	0.950	25.00	20.0	8.0	71.38	34.97	7959.	1668.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P10	1	0.0	0.60	30.00	0.950	0.600	39.00	20.0	8.0	71.91	15.66	0.1755E+05	2703.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P1E	1	0.0	2.50	30.00	1.600	1.600	39.00	20.0	8.0	204.4	379.2	0.5528E+05	0.1126E+05	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P2A	1	0.0	1.60	25.00	1.250	1.250	39.00	20.0	8.0	124.8	98.96	0.3277E+05	4173.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
P51	1	0.0	1.99	25.60	1.140	1.140	36.00	20.0	8.0	138.4	155.0	0.3262E+05	5568.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
S31	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
S32	1	0.0	1.12	14.70	0.660	0.660	26.20	20.0	8.0	48.74	16.61	5938.	593.5	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
S51	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
S52	1	0.0	1.12	14.70	0.660	0.660	26.20	20.0	8.0	48.74	16.61	5938.	593.5	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
T01	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
T02	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
T03	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
T04	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
TT1	1	0.0	1.99	25.60	1.140	1.140	36.00	20.0	8.0	138.4	155.0	0.3262E+05	5568.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
TT2	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
TT3	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
TT4	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
TT5	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
V00	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
V01	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
V02	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
V03	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
V04	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
VT0	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
VT1	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
VT2	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
VT3	1	0.0	1.51	20.40	0.860	0.860	35.00	20.0	8.0	89.11	55.09	0.1963E+05	2138.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
W25	1	0.0	1.12	14.70	0.660	0.660	26.20	20.0	8.0	48.74	16.61	5938.	593.5	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
Z2	1	0.0	1.99	25.60	1.140	1.140	36.00	20.0	8.0	138.4	155.0	0.3262E+05	5568.	34.5	1.0	1.0	0.0	0.00
Z3	1	0.0	0.95	20.00	0.630	0.630	39.00	20.0	8.0	61.37	15.02	0.1644E+05	1267.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
Z5	1	0.0	2.50	30.00	1.600	1.600	39.00	20.0	8.0	204.4	379.2	0.5528E+05	0.1126E+05	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00
ZZ	1	0.0	1.60	25.00	0.950	0.950	39.00	20.0	8.0	114.0	80.86	0.3162E+05	4169.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00

BOX MEMBER PROPERTIES

GRP	M/S	JOINT		SIDE THICK CM	WIDTH CM	TOP/BOT THICK CM	E 1000 KN/CM2	G 1000 KN/CM2	AXIAL AREA CM**2	***** MOMENTS OF INERTIA *****			YIELD STRESS KN/CM2	KY	KZ	BRACE LENGTH M	SECT LEN. M
		THICK M	HEIGHT CM							X-X CM**4	Y-Y CM**4	Z-Z CM**4					
Z7	1	0.00	39.00	2.070	30.00	2.540	20.0	8.0	292.8	0.7249E+05	0.6419E+05	0.3887E+05	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00

PRISMATIC MEMBER PROPERTIES

GRP	M/S	JOINT		HEIGHT CM	WIDTH CM	E 1000 KN/CM2	G 1000 KN/CM2	AXIAL AREA CM**2	***** MOMENTS OF INERTIA *****			YIELD STRESS KN/CM2	KY	KZ	SECTION LENGTH M
		THICK M	HEIGHT CM						X-X CM**4	Y-Y CM**4	Z-Z CM**4				
A10	1	0.00	90.32	25.60	20.0	8.0	255.00	213.00	0.19995E+06	7270.6	34.5	1.0	1.0	0.00	
A11	1	0.00	97.52	25.60	20.0	8.0	276.80	224.70	0.26540E+06	8885.9	34.5	1.0	1.0	0.00	
A12	1	0.00	49.09	27.34	20.0	8.0	188.30	177.30	41963.	7733.3	34.5	1.0	1.0	0.00	
A13	1	0.00	55.49	40.14	20.0	8.0	212.70	190.40	50217.	12416.	34.5	1.0	1.0	0.00	
A14	1	0.00	61.89	52.94	20.0	8.0	237.10	203.50	61555.	21276.	34.5	1.0	1.0	0.00	
A15	1	0.00	66.75	62.68	20.0	8.0	346.00	261.93	0.12880E+06	90124.	34.5	1.0	1.0	0.00	
AP1	1	0.00	41.00	36.00	20.0	8.0	489.60	385.00	0.10162E+06	56039.	24.8	1.0	1.0	0.00	
AP2	1	0.00	41.00	36.00	20.0	8.0	489.60	385.00	0.10162E+06	56039.	24.8	1.0	1.0	0.00	
AP8	1	0.00	64.72	25.60	20.0	8.0	222.40	195.50	0.10423E+06	7266.2	34.5	1.0	1.0	0.00	
AP9	1	0.00	77.52	25.60	20.0	8.0	238.70	204.20	0.14610E+06	7268.4	34.5	1.0	1.0	0.00	
F1	1	0.00	64.72	25.60	20.0	8.0	222.40	195.50	0.10423E+06	7266.2	34.5	1.0	1.0	0.00	
F2	1	0.00	77.52	25.60	20.0	8.0	238.70	204.20	0.14610E+06	7268.4	34.5	1.0	1.0	0.00	
F3	1	0.00	90.32	25.90	20.0	8.0	255.00	213.00	0.19995E+06	7270.6	34.5	1.0	1.0	0.00	
F4	1	0.00	97.52	29.50	20.0	8.0	264.10	217.90	0.23599E+06	7271.8	34.5	1.0	1.0	0.00	
P04	1	0.00	39.00	25.00	20.0	8.0	98.000	64.000	25112.	2535.0	24.8	1.0	1.0	0.00	
P14	1	0.00	39.00	30.00	20.0	8.0	106.00	71.000	26925.	4052.0	24.8	1.0	1.0	0.00	
P15	1	0.00	39.00	25.00	20.0	8.0	114.00	78.000	31624.	5511.0	24.8	1.0	1.0	0.00	
P2E	1	0.00	39.00	25.00	20.0	8.0	101.00	64.000	25179.	2407.0	24.8	1.0	1.0	0.00	
PL1	1	0.00	2.50	30.00	20.0	8.0	75.000	148.05	39.063	5625.0	24.8	1.0	1.0	0.00	
V1	1	0.00	119.00	124.80	20.0	8.0	604.00	405.90	0.10684E+07	0.52971E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V10	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	348.20	50.000	0.68553E+06	0.22224E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V11	1	0.00	114.50	62.40	20.0	8.0	326.00	50.000	0.64792E+06	0.12831E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V12	1	0.00	114.50	62.40	20.0	8.0	286.00	50.000	0.58599E+06	0.10395E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V2	1	0.00	119.00	124.80	20.0	8.0	580.20	384.80	0.86538E+06	0.52772E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V3	1	0.00	119.00	124.80	20.0	8.0	573.10	329.70	0.10502E+07	0.48921E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V4	1	0.00	119.00	124.80	20.0	8.0	549.30	308.00	0.85244E+06	0.48723E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V5	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	457.10	172.00	0.62705E+06	0.39734E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V6	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	484.30	177.00	0.80788E+06	0.40042E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V7	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	376.70	80.000	0.58497E+06	0.29205E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V8	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	403.80	85.001	0.74664E+06	0.29513E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
V9	1	0.00	114.50	124.80	20.0	8.0	321.10	45.000	0.54168E+06	0.21916E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
VX	1	0.00	205.00	124.80	20.0	8.0	479.00	10.000	0.24627E+07	0.29222E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	
Z8	1	0.00	205.00	136.00	20.0	8.0	460.00	10.000	0.27024E+07	0.28458E+06	24.8	1.0	1.0	0.00	

TEE MEMBER REPORT

GRP	S	M STIFN USAGE	HEIGHT CM	WIDTH CM	WEB THICK CM	FLANGE THICK CM	Z-BAR CM	E 1000 KN/CM2	G 1000 KN/CM2	AXIAL AREA CM**2	***** MOMENTS OF INERTIA *****			YIELD STRESS KN/CM2	KY	KZ	BRACE LENGTH M	SECT LEN. M
											X-X CM**4	Y-Y CM**4	Z-Z CM**4					
P16	1	NO	37.40	20.00	0.950	1.600	27.0	20.0	8.0	66.01	38.89	9405.	1069.	24.8	1.0	1.0	0.0	0.00

Tabela 5.1a – Propriedades dos membros por grupo

A tabela abaixo apresenta as propriedades das placas.

PLATE GROUP REPORT

PLATE GROUP	THICK	TYPE	ELAST		POIS. RATIO	YIELD STRESS	***** X-STIFFENERS *****				***** Y-STIFFENERS *****				*** PLATE OFFSETS ***			
			MOD	1000			TX	IY	DXU	DXL	SPAC	TY	IX	DYU	DYL	SPAC	DPY	DPX
	CM		KN/CM2		KN/CM2	CM/CM	CM**4/CM	CM	CM	CM	CM/CM	CM**4/CM	CM	CM	CM	CM	CM	
01	1.270	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D01	2.450	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D02	1.800	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P1	1.600	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	1.900	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P3	1.250	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	2.540	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	1.900	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P7	3.200	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P8	2.540	ISO	20.00	250	24.80	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabela 5.1b – Propriedades das placas por grupo.

6 – DADOS DO CARREGAMENTO

6.1 – CARREGAMENTOS BÁSICOS

Carregamento 1 – O peso próprio das estruturas modeladas é calculado automaticamente pelo programa SACS baseado nas propriedades geométricas dos membros e placas. Esse peso é de aproximadamente 1648 kN, incluindo o “Pipe-Rack”, a passarela, o skid 05 e o skid13.

Carregamento 2 – Como cada nível dos pórticos que formam o “Pipe-Rack” estariam sujeito a tubulações de diferentes diâmetros. Cada nível recebeu diferentes carregamentos de tubulação, de acordo com layout idealizado para o sistema de processo da plataforma.

O peso total da tubulação foi de 6048 kN. Sendo que, 30% do peso da tubulação cheia foi usado para o carregamento na direção do eixo longitudinal dos tubos. E 10% do peso da tubulação cheia foi usado para o carregamento na direção transversal ao eixo longitudinal dos tubos.

Essas porcentagens do peso da tubulação tubulação cheia foram usadas para obter os casos de carga referentes a flexibilidade das tubulações (carregamentos 15 e 16).

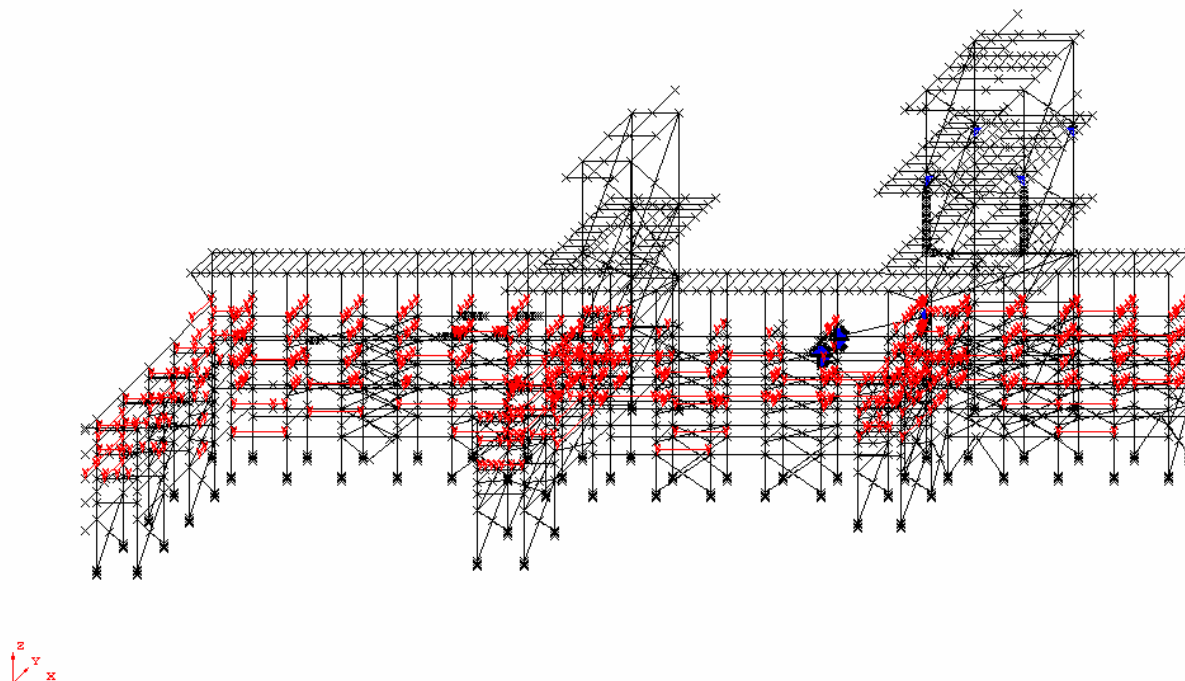


Figura 6.1a – Cargas devidas a tubulação

Carregamentos 3 e 4 – Forças geradas devidas à velocidade do vento na condição de operação, 24.04 m/s, aplicadas nas direções 0 graus e 90 graus respectivamente, e descritas no item 5.2.

Carregamentos 5 e 6 - Forças geradas devidas à velocidade do vento na condição de tormenta, 35.21 m/s, aplicadas nas direções 0 graus e 90 graus respectivamente, e descritas no item 5.2.

Carregamentos 7 a 14 – Forças devido as movimentos da embarcação gerados pelo estado de mar, assim como está descrito no item 5.3.

Os carregamentos 7 a 10 (7 e 8 são Roll+Heave, 9 e 10 são Pitch+Heave) são para condição de operação e de 11 a 14 (11 e 12 são Roll+Heave, 13 e 14 são Pitch+Heave) para condição de tormenta.

Carregamentos 15 a 16 – Para considerar os carregamentos devidos a flexibilidade das tubulações foram consideradas cargas horizontais que são porcentagens do peso da tubulação cheia.

30% do peso da tubulação cheia foi usado para o carregamento na direção do eixo longitudinal dos tubos e 10% do peso da tubulação cheia para o carregamento na direção transversal ao eixo longitudinal dos tubos.

Carregamento 17 – Carregamento devido ao peso dos equipamentos localizados nos skids 05 e 13 e também uma sobrecarga de 4.5 kN/m^2 aplicada na áreas livres dos skids.

Além disso, leva em consideração os corrimãos nos skids e passarela de 0.2 kN/m e uma sobrecarga na passarela de 1.5 kN/m^2 .

LOAD CONDITION 17

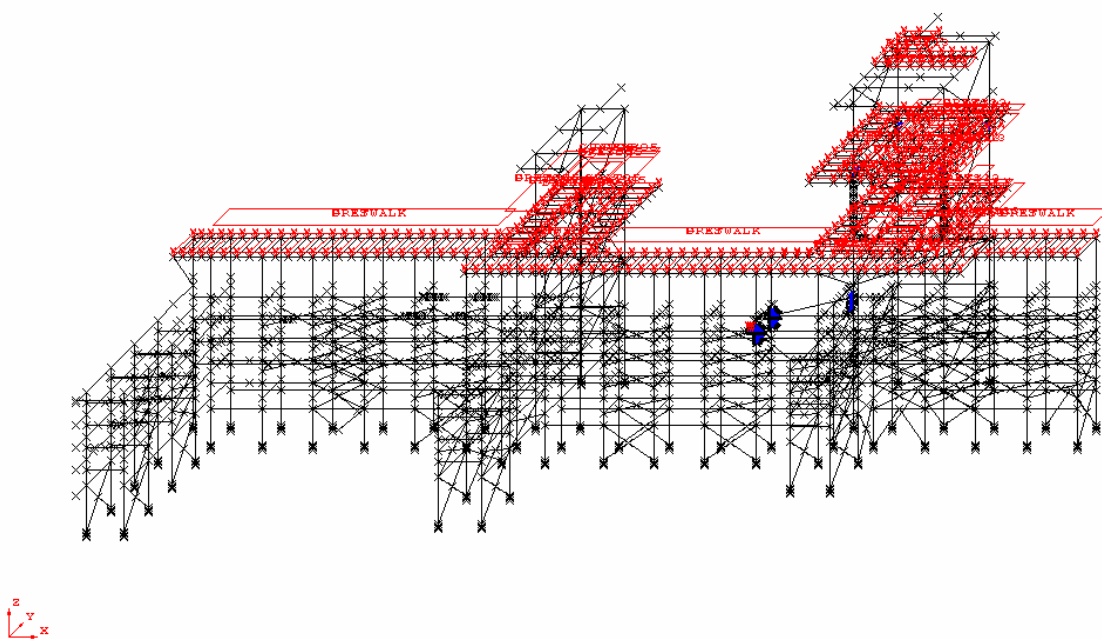


Figura 6.1b – Carregamento 17

Carregamentos 51 a 70 – Como havia muitas áreas de obstrução em apenas um carregamento não foi possível colocar todas estas áreas de obstrução em apenas um carregamento. Sendo assim, tiveram que ser feitos carregamentos devidos ao vento onde as forças geradas eram devidas somente a incidência do vento nas áreas de obstrução sem levar

em conta a incidência do vento nos elementos modelados pois estas forças devida ao vento nos elementos modelados já havia sido calculada pelos carregamentos 3 ao 6

Carregamento 71 - Para considerar as condições de operação da plataforma foi considerada uma variação de temperatura linear de 15°C . Considerando que a plataforma iria operar em uma temperatura média de 25°C podendo atingir 40°C .

LOAD CONDITION 71

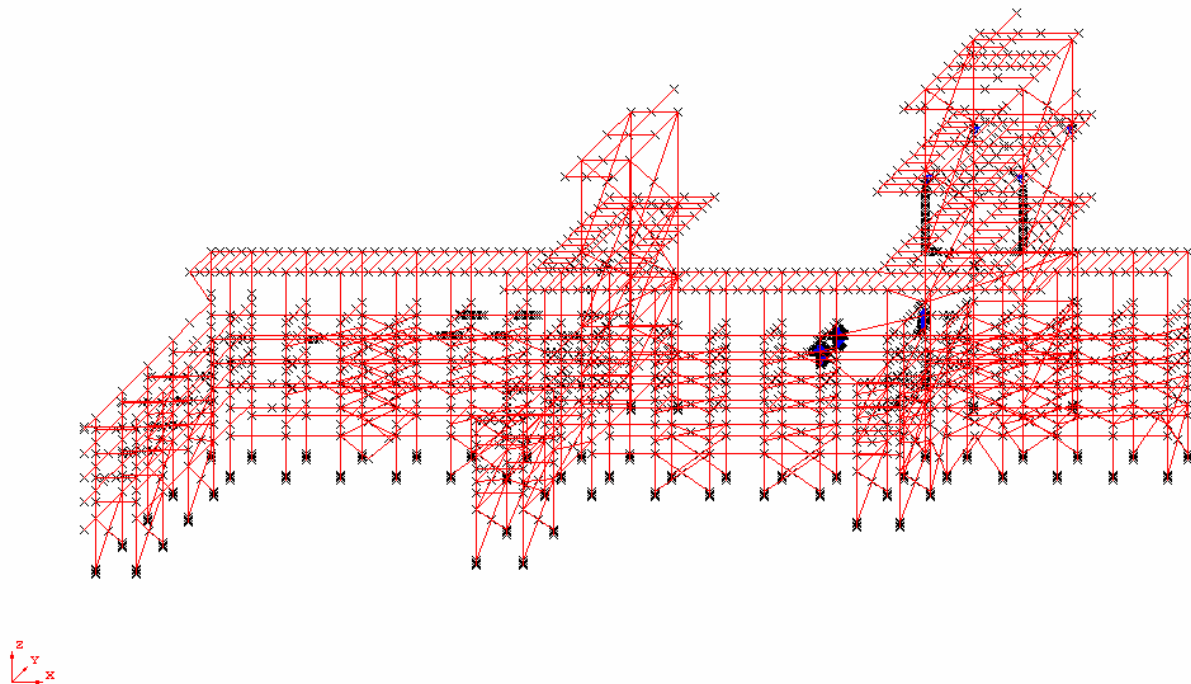


Figura 6.1c – Temperatura

Carregamentos 80 a 94 – Alguns skids foram modelados isoladamente e, assim como o “Pipe-Rack”, levaram em consideração os carregamentos ambientais atuantes na embarcação. Suas reações, de cada combinação correspondente ao modelo do “Pipe-Rack”, foram aplicadas no deck principal (pancake), e estão descritos no sumário de carregamentos básicos.

A tabela abaixo apresenta um sumário dos carregamentos básicos do modelo:

CARREGAMENTOS BÁSICOS	DESCRIÇÃO
1	Peso próprio da estrutura
2	Tubulação
3	Vento na direção X (OPERAÇÃO)
4	Vento na direção Y (OPERAÇÃO)
5	Vento na direção X (TORMENTA)
6	Vento na direção Y (TORMENTA)
7	Movimento do Navio -ROLL (OPERAÇÃO)
8	Movimento do Navio +ROLL (OPERAÇÃO)
9	Movimento do Navio -PITCH (OPERAÇÃO)
10	Movimento do Navio +PITCH (OPERAÇÃO)
11	Movimento do Navio -ROLL (TORMENTA)
12	Movimento do Navio +ROLL (TORMENTA)
13	Movimento do Navio -PITCH (TORMENTA)
14	Movimento do Navio +PITCH (TORMENTA)
15	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção X
16	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção Y
17	Cargas não modeladas do Skid 05, Skid 13 e Passarela.
51	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
52	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
53	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
54	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
55	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
56	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
57	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
58	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
59	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
60	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
61	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
62	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
63	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
64	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução

65	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
66	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
67	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
68	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução
69	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
70	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução
71	Varição uniforme de temperature de 15 ^o C
80	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 101 e 301
81	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 102 e 302
82	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 103 e 303
83	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 104 e 304
84	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 201 e 401
85	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 202 e 402
86	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 203 e 403
87	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 204 e 404
88	Reações do skid 11 – Self Weight, Equipment abd Live Loads
89	Reações do skid 11 – Vento na direção X
90	Reações do skid 11 – Vento na direção Y
91	Reações do skid 11 – Pitch (TORMENTA)
92	Reações do skid 11 – Roll (TORMENTA)
93	Reações do skid 11 – Pitch (OPERAÇÃO)
94	Reações do skid 11 – Roll (OPERAÇÃO)
95	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós devido ao Hogging
96	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós ao Sagging
97	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção X
98	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção Y

Tabela 6.1b – Carregamentos básicos

Um somatório das forças aplicadas em cada direção dos carregamentos básico é dado na tabela 6.1c:

***** SEASTATE BASIC LOAD CASE SUMMARY *****

LOAD CASE	LOAD LABEL	RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION						DEAD LOAD (KN)	BUOYANCY (KN)
		FX (KN)	FY (KN)	FZ (KN)	MX (KN-M)	MY (KN-M)	MZ (KN-M)		
1	1	0.000	0.000	-6988.308	-3319.734	327446.813	0.000	6988.309	0.000
2	2	0.000	0.000	-6042.614	872.337	281988.094	0.000	0.000	0.000
3	3	629.984	0.219	0.078	-5.214	14047.673	-371.765	0.000	0.000
4	4	0.219	464.479	0.358	-10924.874	-4.134	21695.619	0.000	0.000
5	5	1148.035	0.423	0.136	-10.251	26082.895	-773.838	0.000	0.000
6	6	0.423	863.432	0.699	-20612.887	-7.894	40384.902	0.000	0.000
7	7	0.000	4387.802	-760.934	-115103.258	38062.473	212272.531	0.000	0.000
8	8	0.000	-4387.790	-638.281	113800.383	29232.762	-212272.266	0.000	0.000
9	9	-1371.840	0.000	174.517	748.769	-53347.758	1543.160	0.000	0.000
10	10	1371.845	0.000	-2212.877	-2646.698	151383.594	-1543.155	0.000	0.000
11	11	0.000	9251.257	-1252.313	-243231.984	63620.629	447811.594	0.000	0.000
12	12	0.000	-9251.268	-968.575	241163.234	43194.340	-447811.594	0.000	0.000
13	13	-1636.111	0.000	-1319.137	-616.402	11398.518	1800.795	0.000	0.000
14	14	1636.114	0.000	-3810.667	-4159.986	235321.781	-1800.802	0.000	0.000
15	15	-2523.569	0.000	0.000	0.000	-66206.320	805.860	0.000	0.000
16	16	0.000	-2536.329	0.000	66566.695	0.000	-110064.820	0.000	0.000
17	17	0.000	0.000	-2380.274	-10888.529	127618.727	0.000	0.000	0.000
18	51	3.443	0.000	0.000	0.000	92.601	7.509	0.000	0.000
19	52	0.000	6.421	0.000	-171.657	0.000	232.770	0.000	0.000
20	53	6.719	0.000	0.000	0.000	180.748	14.626	0.000	0.000
21	54	0.000	12.514	0.000	-334.731	0.000	453.721	0.000	0.000
22	55	4.882	0.000	0.000	0.000	129.196	-0.823	0.000	0.000
23	56	0.000	7.048	0.000	-186.866	0.000	319.893	0.000	0.000
24	57	9.499	0.000	0.000	0.000	251.513	-1.621	0.000	0.000
25	58	0.000	13.716	0.000	-363.899	0.000	622.348	0.000	0.000
26	59	6.806	0.000	0.000	0.000	181.275	-5.208	0.000	0.000
27	60	0.000	6.134	0.000	-163.626	0.000	371.687	0.000	0.000
28	61	13.256	0.000	0.000	0.000	353.272	-10.106	0.000	0.000
29	62	0.000	11.948	0.000	-318.944	0.000	723.978	0.000	0.000
30	63	5.701	0.000	0.000	0.000	151.292	-14.253	0.000	0.000
31	64	0.000	6.401	0.000	-169.694	0.000	462.201	0.000	0.000
32	65	11.096	0.000	0.000	0.000	294.654	-27.739	0.000	0.000
33	66	0.000	12.455	0.000	-330.437	0.000	899.343	0.000	0.000
34	67	25.800	0.000	0.000	0.000	871.710	-125.091	0.000	0.000
35	68	0.000	24.492	0.000	-811.165	0.000	1254.612	0.000	0.000
36	69	51.675	0.000	0.000	0.000	1748.143	-252.070	0.000	0.000
37	70	0.000	48.950	0.000	-1623.480	0.000	2513.047	0.000	0.000
38	71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	80	509.853	1149.899	-9123.773	-47367.965	447970.344	29429.354	0.000	0.000
40	81	-508.048	-1150.996	-8229.450	8093.091	372167.125	-29496.451	0.000	0.000
41	82	-386.798	1467.724	-8492.985	-48491.699	390973.875	90848.156	0.000	0.000
42	83	388.845	-1467.219	-8758.176	8433.965	418513.844	-90774.141	0.000	0.000
43	84	923.363	2628.639	-8099.147	-79198.203	412195.938	64966.320	0.000	0.000
44	85	-676.862	-2396.405	-7570.228	40204.121	336240.188	-60755.809	0.000	0.000
45	86	-150.702	3383.852	-7256.395	-84846.414	330046.406	192908.344	0.000	0.000

SACS Release 5.1

Suporte

ID=06840236

***** EDI/SACS IV SEASTATE PROGRAM *****

DATE 29-JUL-2005

TIME 10:22:00

SEA PAGE

514

***** SEASTATE BASIC LOAD CASE SUMMARY *****

LOAD CASE	LOAD LABEL	RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION						DEAD LOAD (KN)	BUOYANCY (KN)
		FX (KN)	FY (KN)	FZ (KN)	MX (KN-M)	MY (KN-M)	MZ (KN-M)		
46	87	515.767	-3116.931	-8128.258	39263.641	381406.063	-190076.016	0.000	0.000
47	88	11.522	9.408	-1655.093	-11817.378	124492.289	625.827	0.000	0.000
48	89	66.422	0.000	0.000	-0.403	1218.596	-465.383	0.000	0.000
49	90	0.000	117.006	0.000	-2920.816	0.071	8786.210	0.000	0.000
50	91	-579.752	0.000	-1901.443	-13171.178	132143.609	4016.473	0.000	0.000
51	92	0.000	-663.261	-1321.732	7937.644	99248.867	-49789.684	0.000	0.000
52	93	-280.329	0.000	-1509.037	-10454.584	108170.914	1940.730	0.000	0.000
53	94	0.000	-295.849	-1098.173	420.217	82461.844	-22210.328	0.000	0.000
54	95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
55	96	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
56	97	-1147.018	0.000	0.000	0.000	-30407.824	-4002.371	0.000	0.000
57	98	0.000	-1147.018	0.000	30407.824	0.000	-41894.199	0.000	0.000

Tabela 6.1c- Somatório das forças em cada direção por carregamento básico

6.2 – CARREGAMENTOS COMBINADOS

A tabela 6.2a apresenta a lista de carregamentos básicos combinados com seus respectivos fatores de majoração e minoração.

CARREGAMENTOS	DESCRIÇÃO	COMBINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS (CONSIDERANDO “SAGGING”)							
		101	102	103	104	201	202	203	204
1	Peso próprio da estrutura	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
2	Tubulação	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Vento na direção X (OPERAÇÃO)	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
4	Vento na direção Y (OPERAÇÃO)	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
5	Vento na direção X (TORMENTA)	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
6	Vento na direção Y (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
7	Movimento do Navio -ROLL (OPERAÇÃO)	-	-	1.00	-	-	-	-	-
8	Movimento do Navio +ROLL (OPERAÇÃO)	-	-	-	1.00	-	-	-	-
9	Movimento do Navio -PITCH (OPERAÇÃO)	-	1.00	-	-	-	-	-	-
10	Movimento do Navio +PITCH (OPERAÇÃO)	1.00	-	-	-	-	-	-	-
11	Movimento do Navio -ROLL (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	1.00	-
12	Movimento do Navio +ROLL (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	-	1.00
13	Movimento do Navio -PITCH (TORMENTA)	-	-	-	-	-	1.00	-	-
14	Movimento do Navio +PITCH (TORMENTA)	-	-	-	-	1.00	-	-	-
15	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção X	-0.30	0.30	-	-	-0.30	0.30	-	-
16	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção Y	-	-	-0.10	0.10	-	-	-0.10	0.10
17	Cargas não modeladas do Skid 05, Skid 13 e Passarela.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
51	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
52	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
53	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
54	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
55	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-

	somente nas áreas de obstrução								
56	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
57	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
58	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
59	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
60	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
61	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
62	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
63	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
64	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
65	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
66	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
67	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
68	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
69	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
70	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
71	Varição uniforme de temperature de 15 ^o C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
80	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 101 e 301	1.00	-	-	-	-	-	-	-
81	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 102 e 302	-	1.00	-	-	-	-	-	-
82	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 103 e 303	-	-	1.00	-	-	-	-	-
83	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 104 e 304	-	-	-	1.00	-	-	-	-
84	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 201 e 401	-	-	-	-	1.00	-	-	-
85	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 202 e 402	-	-	-	-	-	1.00	-	-

86	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 203 e 403	-	-	-	-	-	-	1.00	-
87	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 204 e 404	-	-	-	-	-	-	-	1.00
88	Reações do skid 11 – Self Weight, Equipment abd Live Loads	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
89	Reações do skid 11 – Vento na direção X	1.00	-1.00	-	-	1.00	-1.00	-	-
90	Reações do skid 11 – Vento na direção Y	-	-	1.00	-1.00	-	-	1.00	-1.00
91	Reações do skid 11 – Pitch (TORMENTA)	-	-	-	-	-1.00	1.00	-	-
92	Reações do skid 11 – Roll (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	-1.00	1.00
93	Reações do skid 11 – Pitch (OPERAÇÃO)	-1.00	1.00	-	-	-	-	-	-
94	Reações do skid 11 – Roll (OPERAÇÃO)	-	-	-1.00	1.00	-	-	-	-
95	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós devido ao Hogging	-	-	-	-	-	-	-	-
96	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós ao Sagging	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
97	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção X	-0.10	0.10	-	-	-0.10	0.10	-	-
98	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção Y	-	-	-0.30	0.30	-	-	-0.30	0.30

CARREGAMENTOS	DESCRIÇÃO	COMBINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS (CONSIDERANDO “HOGGING”)							
		101	102	103	104	201	202	203	204
1	Peso próprio da estrutura	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
2	Tubulação	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Vento na direção X (OPERAÇÃO)	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
4	Vento na direção Y (OPERAÇÃO)	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
5	Vento na direção X (TORMENTA)	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
6	Vento na direção Y (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
7	Movimento do Navio -ROLL (OPERAÇÃO)	-	-	1.00	-	-	-	-	-
8	Movimento do Navio +ROLL (OPERAÇÃO)	-	-	-	1.00	-	-	-	-
9	Movimento do Navio -PITCH (OPERAÇÃO)	-	1.00	-	-	-	-	-	-

10	Movimento do Navio +PITCH (OPERAÇÃO)	1.00	-	-	-	-	-	-	-
11	Movimento do Navio -ROLL (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	1.00	-
12	Movimento do Navio +ROLL (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-		1.00
13	Movimento do Navio -PITCH (TORMENTA)	-	-	-	-	-	1.00	-	-
14	Movimento do Navio +PITCH (TORMENTA)	-	-	-	-	1.00	-	-	-
15	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção X	-0.30	0.30	-	-	-0.30	0.30	-	-
16	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01C, 02C, 03C aplicada na direção Y	-	-	-0.10	0.10	-	-	-0.10	0.10
17	Cargas não modeladas do Skid 05, Skid 13 e Passarela.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
51	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
52	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
53	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
54	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
55	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
56	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
57	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
58	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
59	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
60	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
61	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
62	Vento na direção Y– (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
63	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
64	Vento na direção Y– (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
65	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-

66	Vento na direção Y- (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
67	Vento na direção X – (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	1.00	-1.00	-	-	-	-	-	-
68	Vento na direção Y- (OPERAÇÃO) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	1.00	-1.00	-	-	-	-
69	Vento na direção X – (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	1.00	-1.00	-	-
70	Vento na direção Y- (TORMENTA) aplicado somente nas áreas de obstrução	-	-	-	-	-	-	1.00	-1.00
71	Varição uniforme de temperature de 15 ^o C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
80	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 101 e 301	1.00	-	-	-	-	-	-	-
81	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 102 e 302	-	1.00	-	-	-	-	-	-
82	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 103 e 303	-	-	1.00	-	-	-	-	-
83	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 104 e 304	-	-	-	1.00	-	-	-	-
84	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 201 e 401	-	-	-	-	1.00	-	-	-
85	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 202 e 402	-	-	-	-	-	1.00	-	-
86	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 203 e 403	-	-	-	-	-	-	1.00	-
87	Reações dos skids 01, 02, 03, 09, 10, 12, 17, 18, 19 aplicados na combinação 204 e 404	-	-	-	-	-	-	-	1.00
88	Reações do skid 11 – Self Weight, Equipment and Live Loads	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
89	Reações do skid 11 – Vento na direção X	1.00	-1.00	-	-	1.00	-1.00	-	-
90	Reações do skid 11 – Vento na direção Y	-	-	1.00	-1.00	-	-	1.00	-1.00
91	Reações do skid 11 – Pitch (TORMENTA)	-	-	-	-	-1.00	1.00	-	-
92	Reações do skid 11 – Roll (TORMENTA)	-	-	-	-	-	-	-1.00	1.00
93	Reações do skid 11 – Pitch (OPERAÇÃO)	-1.00	1.00	-	-	-	-	-	-
94	Reações do skid 11 – Roll (OPERAÇÃO)	-	-	-1.00	1.00	-	-	-	-
95	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós devido ao Hogging	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
96	Deslocamentos e rotações aplicados ns nós ao Sagging	-	-	-	-	-	-	-	-
97	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção X	-0.10	0.10	-	-	-0.10	0.10	-	-

98	Flexibilidade da tubulação nos trechos 01T, 02T, 03T aplicada na direção Y	-	-	-0.30	0.30	-	-	-0.30	0.30
----	--	---	---	-------	------	---	---	-------	------

Tabela 6.2a – Combinação de Carregamentos

Considerou-se um fator de majoração de 10% no carregamento de peso próprio para se levar em conta alguns elementos de ligação não considerados.

As combinações 201 a 204 e 401 a 404 são para condições de tormenta, e tiveram um acréscimo de 1/3 na tensão admissível, pois a API RP2A permite que se use este fator numa condição de tempestade .

7 – RESULTADOS DA ANÁLISE

A análise estrutural do “Pipe-Rack”, incluindo as verificações de tensões, foi feita utilizando o programa SACS. Os resultados serão discutidos abaixo.

Definiremos para efeito de ilustração os fatores de utilização citados no decorrer deste item:

O método de verificação é o das tensões admissíveis. Considerando que um elemento esteja sujeito à flexo-compressão, seu fator de utilização será:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fbx}{Fbx} + \frac{fby}{Fby} \leq 1.0 \quad \text{quando } \frac{fa}{Fa} \leq 0.15 \text{ pois, nesse caso desconsidera-se o efeito da flambagem}$$

Onde:

fa = tensão devida ao esforço axial atuante

Fa = tensão admissível devida ao esforço axial, que é $0.6 \times Fy$ (0.6 da tensão de escoamento do aço)

fbx = tensão atuante devida à flexão no eixo de maior inércia

Fbx = tensão admissível devida à flexão no eixo de maior inércia que para perfis I compactos é $0.66 \times Fy$

fby = tensão atuante devida à flexão no eixo de menor inércia

Fby = tensão admissível devida à flexão no eixo de menor inércia que para perfis I compactos é $0.75 \times Fy$

Quando $\frac{fa}{Fa} \geq 0.15$ considera-se o efeito da flambagem e o fator de utilização devido à flexo-compressão fica:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{Cmx.fbx}{1 - \frac{fa}{Fex}} \cdot \frac{1}{Fbx} + \frac{Cmy.fby}{1 - \frac{fa}{Fey}} \cdot \frac{1}{Fby}$$

Onde :

$$Fe = \frac{12.E.\pi}{23.(\frac{K.lb}{rb})^2}$$

que é a tensão de Euler dividida por um fator de segurança, onde, lb é o

comprimento do membro e rb é o raio de giração do elemento segundo uma direção.

$Cm = \acute{E}$ um fator que depende das condições de contorno do membro e da incidência do carregamento (valor padrão = 0,85).

7.1 – FUNDAÇÕES DO “PIPE-RACK”

As fundações do “Pipe-Rack” no deck principal foram modeladas a partir de suas propriedades geométricas e posteriormente verificadas.

Fundações dos trechos 1C e 1T

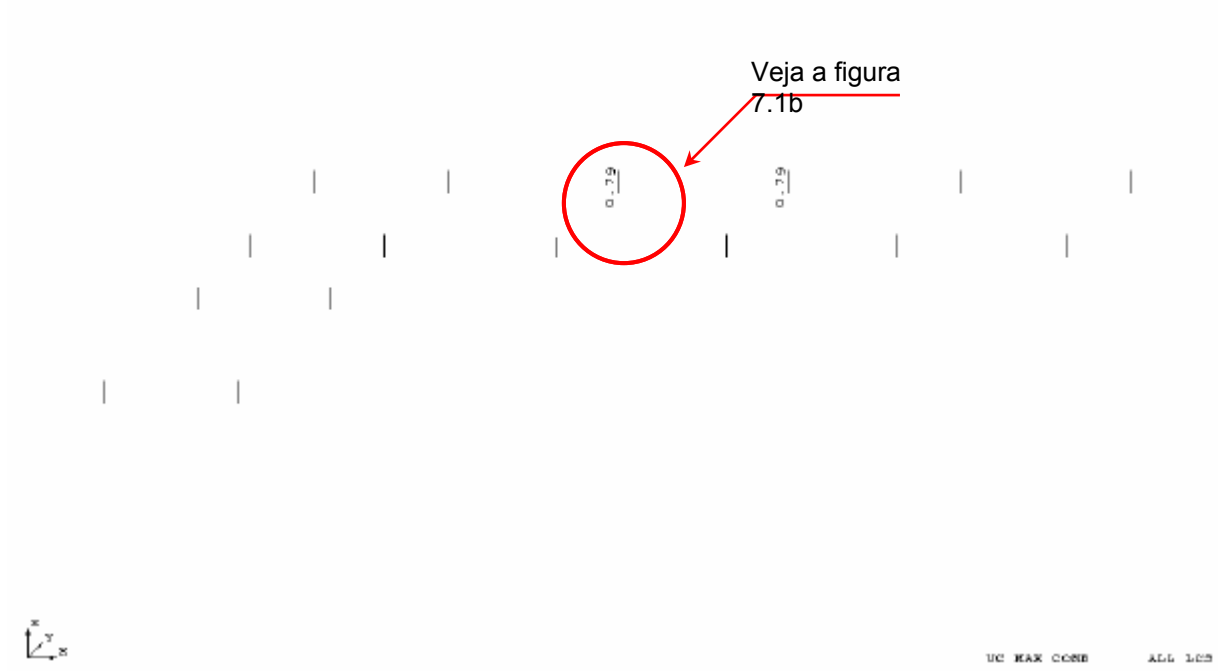


Figura 7.1a – Verificação das tensões das fundações dos trechos 01C e 01T - mostra os fatores de utilização acima de 0.75

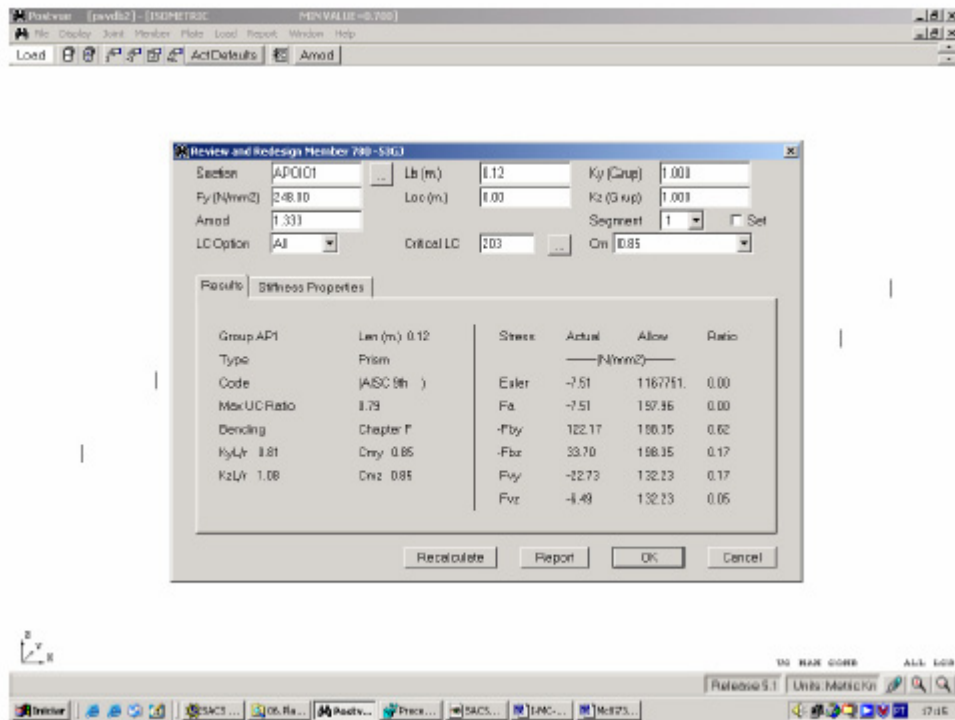


Figura 7.1b – Tensões máximas das fundações do trecho 1C e 1T

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD CASE	FORCE (X)	FORCE (Y)	FORCE (Z)	MOMENT (X)	MOMENT (Y)	MOMENT (Z)
780-5303	780	AP1	101	-413.53	-528.40	13.75	-0.32	-18.69	131.28
			102	-235.46	-155.00	-7.64	-0.33	24.07	43.84
			103	-328.99	-382.26	-73.25	-0.59	160.92	96.25
			104	-320.94	-299.14	79.84	-0.06	-156.42	78.29
			201	-470.26	-574.26	16.71	-0.29	-24.29	141.35
			202	-251.70	-114.84	-13.83	-0.39	37.20	35.34
			203	-367.57	-420.78	-150.93	-0.85	322.46	104.93
			204	-296.86	-270.13	149.86	0.17	-302.04	72.09
			301	-468.07	-196.89	-1.89	-0.41	13.30	51.10
			302	-290.00	176.50	-23.28	-0.42	56.06	-36.34
			303	-383.53	-50.76	-88.89	-0.68	192.91	16.07
			304	-375.48	32.37	64.20	-0.15	-124.42	-1.89
			401	-524.80	-242.75	1.07	-0.38	7.70	61.17
			402	-306.24	216.67	-29.47	-0.48	69.19	-44.83
			403	-422.11	-89.25	-166.57	-0.94	354.46	24.73
			404	-351.39	61.37	134.22	0.08	-270.05	-8.09

Figura 7.1c – Forças no membro que apresenta tensão máxima das fundações dos trechos 1C e 1T

A figura a seguir apresentam os detalhes das fundações dos trechos 1C e 1T e seus suportes no deck principal (“pancake”).

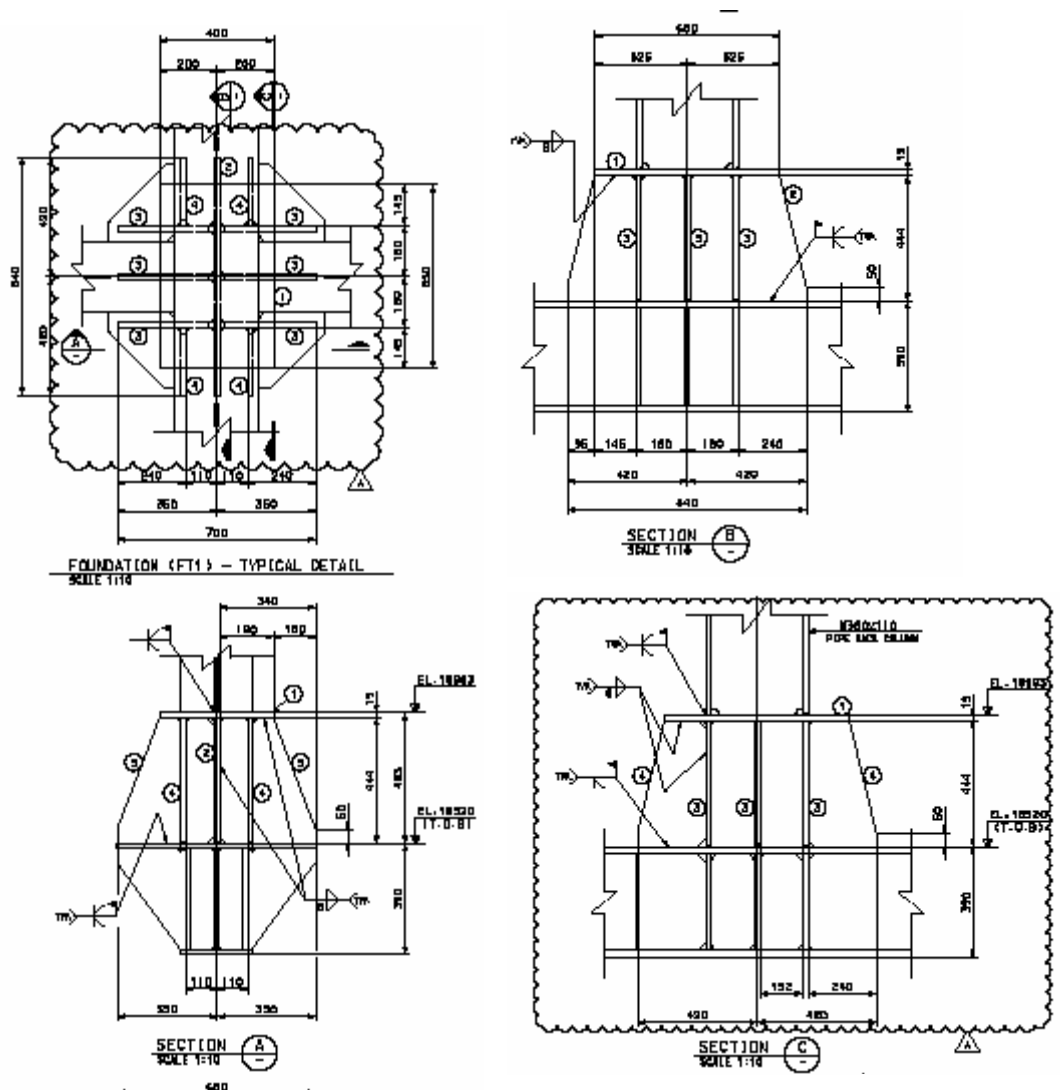


Figura 7.1d- Detalhes da fundações dos trechos 1C e 1T

Fundações do trecho 2C

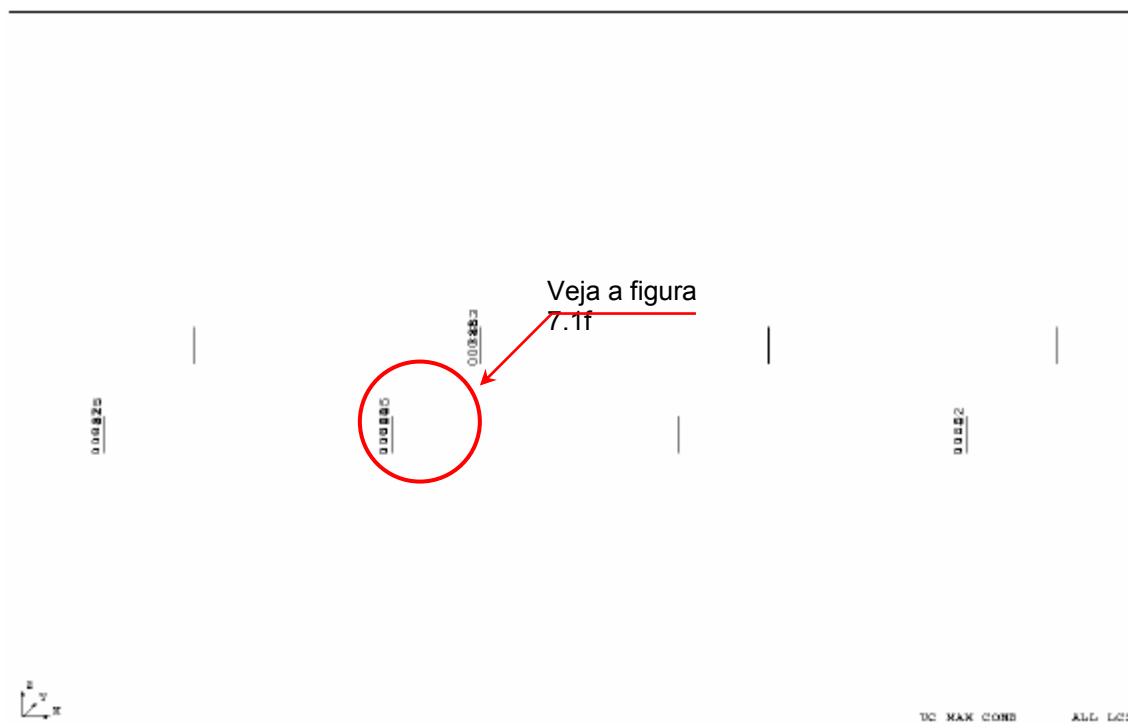


Figura 7.1e – Verificação das tensões das fundações dos trechos 2C, fatores de utilização acima de 0.75

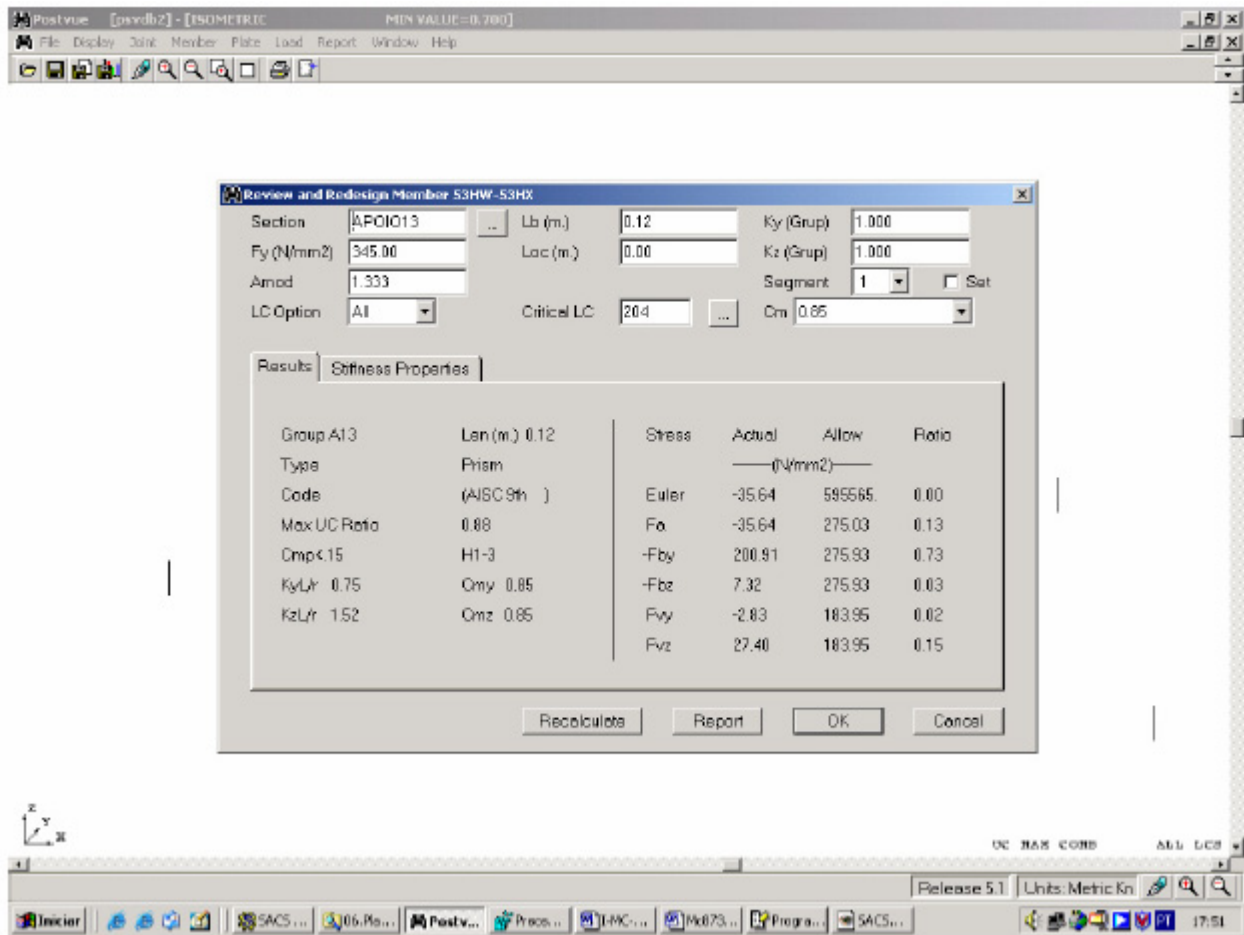


Figura 7.1f – Tensões máximas das fundações do trecho 2C

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD CASE	FORCE (X)	FORCE (Y)	FORCE (Z)	MOMENT (X)	MOMENT (Y)	MOMENT (Z)
53HW-53HX	53HW	A13	101	-353.80	-55.61	30.41	0.20	-67.48	9.69
			102	-162.22	63.63	26.71	0.13	-59.61	-7.85
			103	20.30	26.58	-32.01	-0.13	64.07	-1.26
			104	-528.45	-17.98	88.09	0.46	-189.12	3.08
			201	-402.08	-73.68	31.92	0.22	-70.99	12.29
			202	-160.63	72.19	24.64	0.12	-55.20	-9.17
			203	273.01	42.65	-89.64	-0.42	185.48	-2.54
			204	-758.01	-34.57	138.78	0.73	-294.44	4.53
			301	-302.82	-91.15	4.18	0.09	-9.35	14.53
			302	-111.24	28.10	0.47	0.03	-1.48	-3.02
			303	71.27	-8.95	-58.25	-0.23	122.20	3.58
			304	-477.48	-53.51	61.86	0.35	-130.98	7.92
			401	-351.10	-109.21	5.68	0.11	-12.86	17.13
			402	-109.65	36.66	-1.59	0.01	2.93	-4.33
			403	323.98	7.32	-116.07	-0.53	243.62	2.30
			404	-707.04	-70.11	112.54	0.62	-236.31	9.37

Figura 7.1g – Forças no membro que apresenta tensão máxima nas fundações do trecho 2C

A figura a seguir apresenta os detalhes das fundações do trecho 2C e seus suportes no deck principal (pancake).

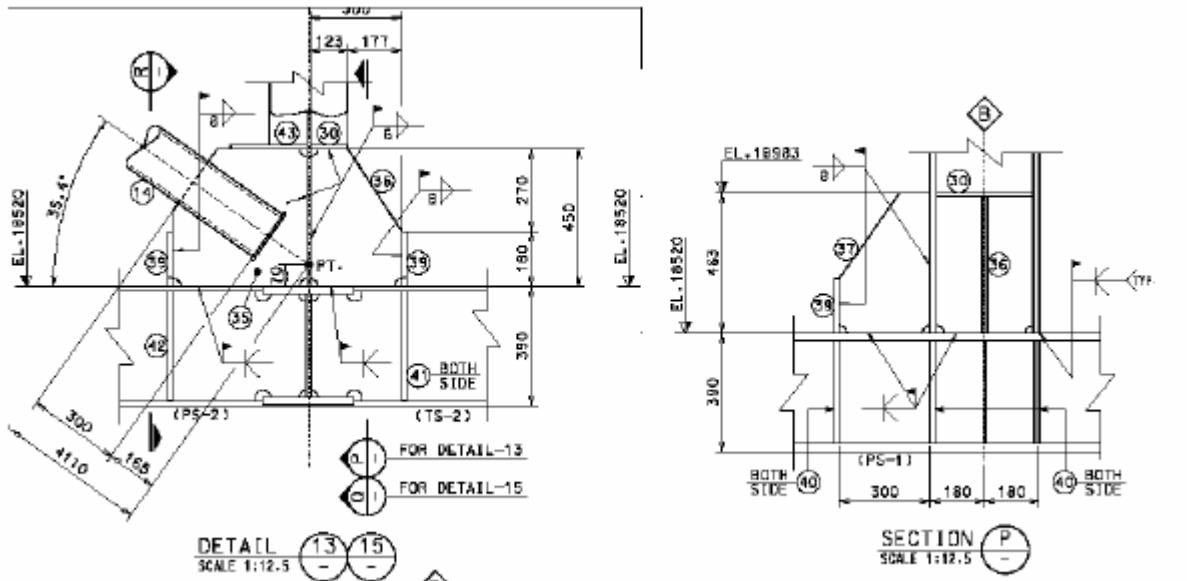


Figura 7.1h – Detalhes da fundações do trecho 2C

Fundações do trecho 2T

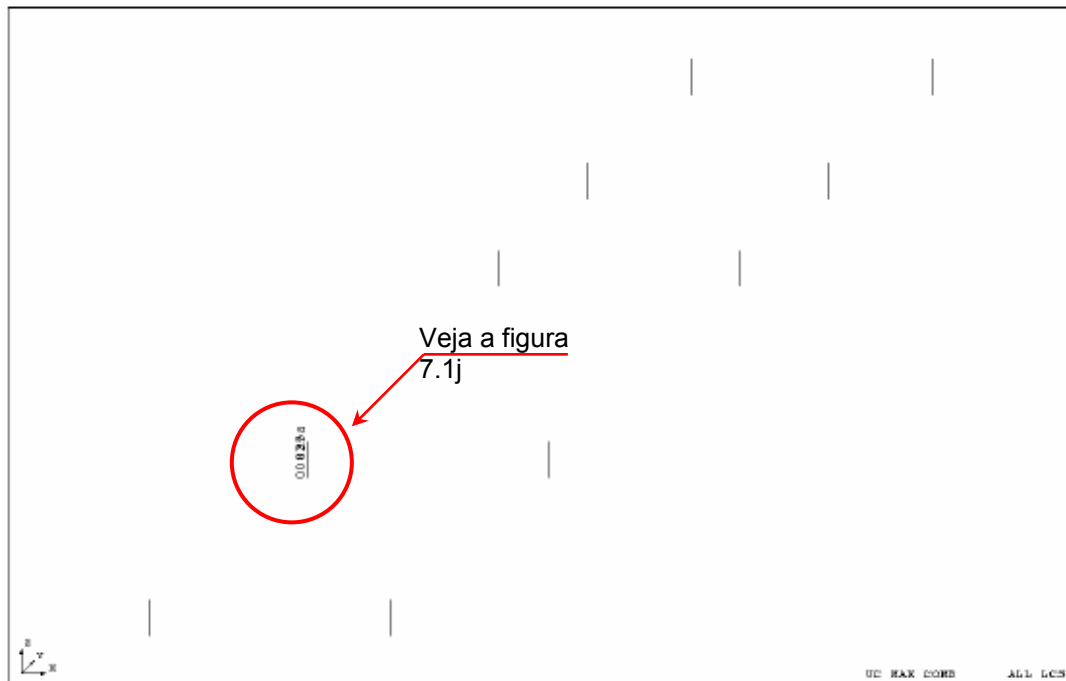


Figura 7.1i – Verificação das tensões das fundações dos trechos 2T, fatores de utilização acima de 0.75

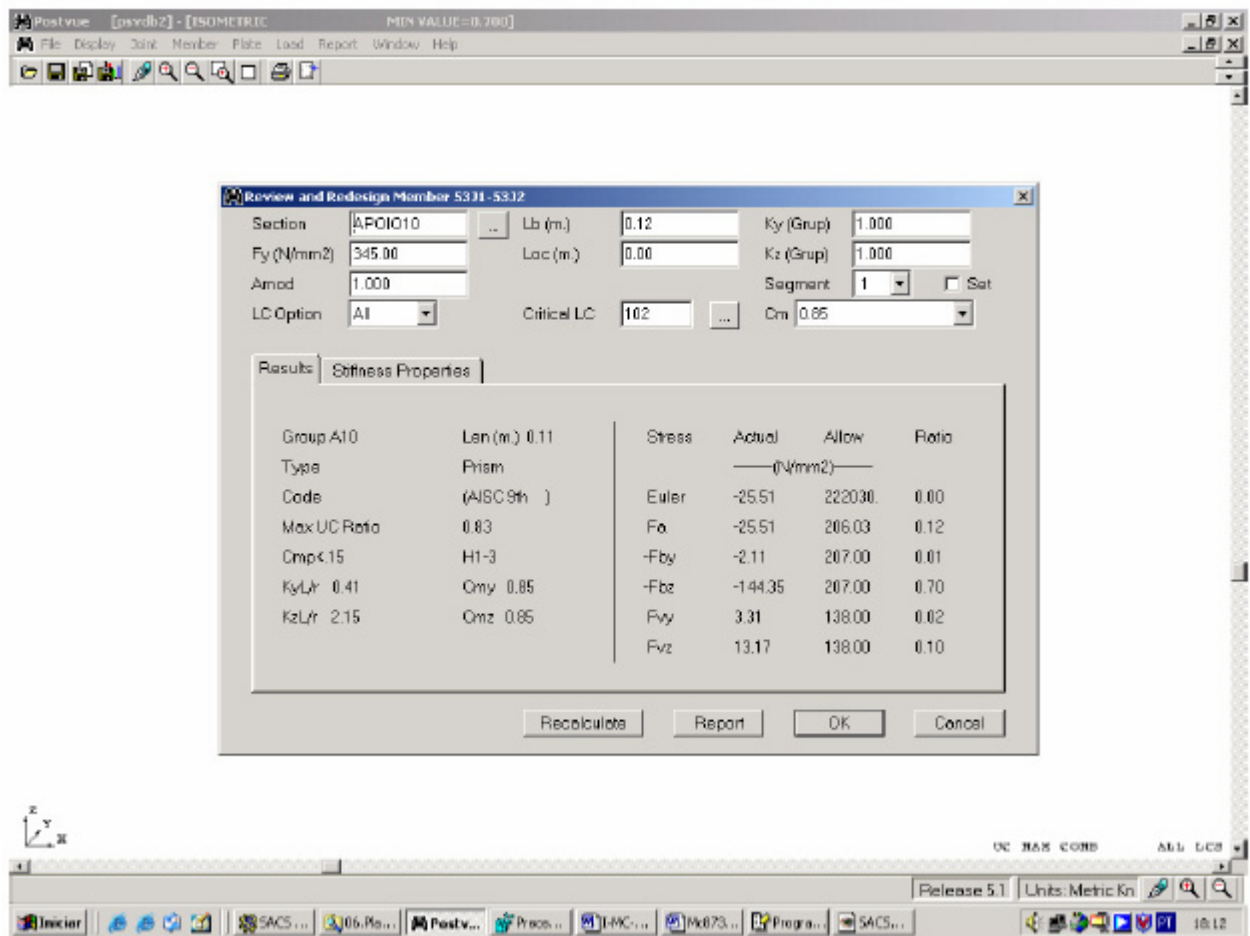


Figura 7.1j – Tensões máximas das fundações do trecho 2T

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD CASE	FORCE (X)	FORCE (Y)	FORCE (Z)	MOMENT (X)	MOMENT (Y)	MOMENT (Z)
53J1-53J2	53J1	A10	101	-443.64	-18.33	107.37	0.49	-2.25	39.58
			102	-650.41	40.49	108.50	-0.14	-9.36	-81.98
			103	-406.86	10.67	-157.96	0.18	38.95	-19.81
			104	-661.24	11.49	370.71	0.18	-50.96	-22.59
			201	-459.14	-24.37	104.75	0.55	-0.97	50.81
			202	-742.62	46.78	120.82	-0.19	-10.33	-93.78
			203	-292.82	10.03	-397.34	0.18	79.34	-18.08
			204	-785.45	12.32	562.23	0.18	-82.00	-24.56
			301	-458.91	-27.72	96.14	0.35	3.13	57.91
			302	-665.68	31.09	97.28	-0.28	-3.98	-63.66
			303	-422.13	1.27	-169.19	0.04	44.33	-1.48
			304	-676.51	2.10	359.49	0.03	-45.18	-4.25
			401	-474.41	-33.76	93.52	0.40	4.41	69.14
			402	-757.89	37.38	109.60	-0.33	-4.95	-75.45
			403	-308.09	0.63	-408.57	0.04	84.71	0.26
			404	-800.72	2.92	551.00	0.04	-76.62	-6.22

Figura 7.11 – Forças no membro que apresenta tensão máxima nas fundações do trecho 2T

Fundações do trecho 3C



Figura 7.1m – Verificação das tensões das fundações dos trechos 3C, fatores de utilização acima de 0.75

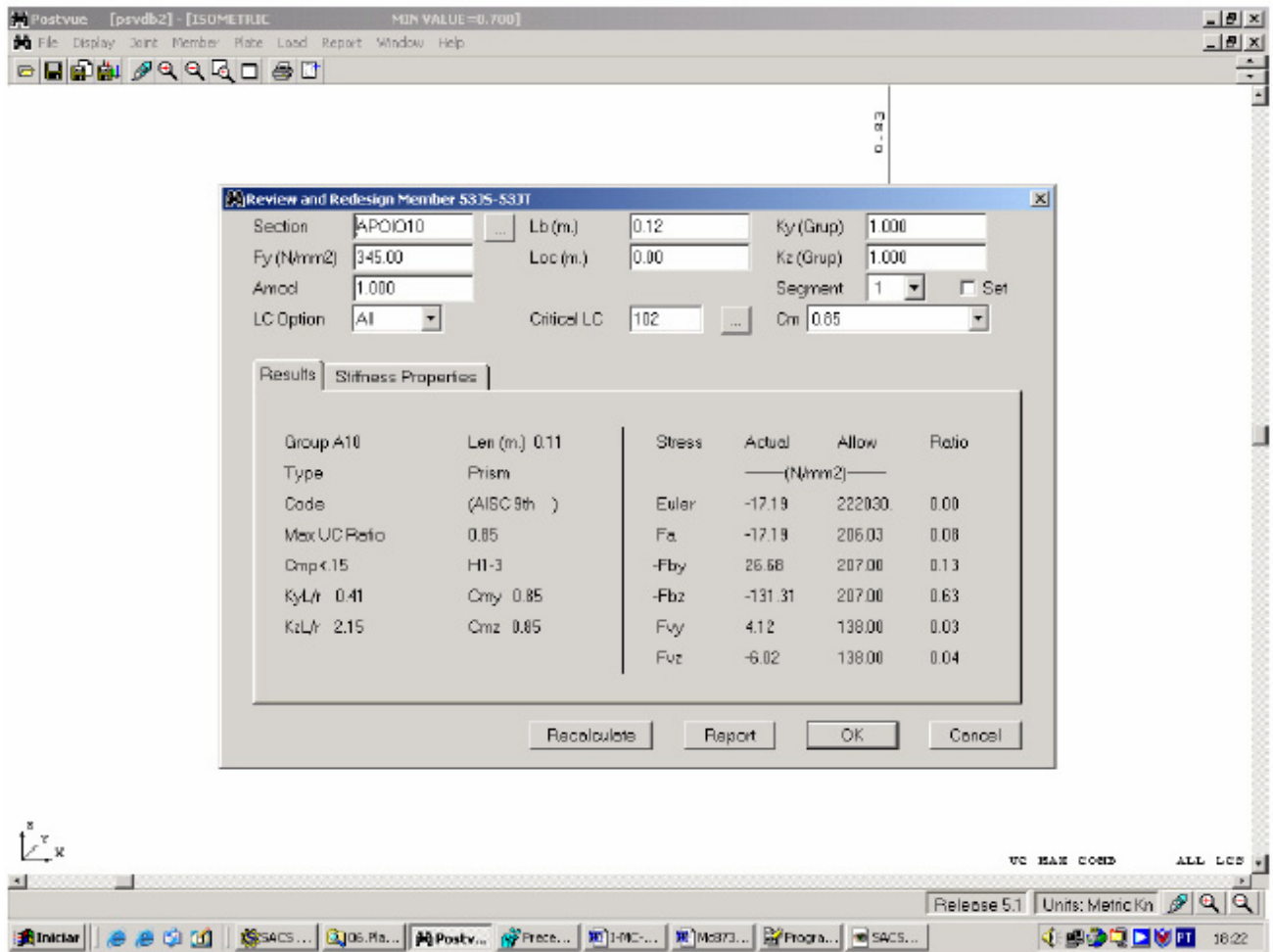


Figura 7.1n – Tensões máximas das fundações do trecho 3C

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

MEMBER NUMBER	MEMBER END	GROUP ID	LOAD CASE	***** KN *****	***** KN-M *****
				FORCE (X) FORCE (Y) FORCE (Z) MOMENT (X) MOMENT (Y) MOMENT (Z)	
53JS-53JT	53JS	A10	101	-350.51 28.30 -39.73 -0.01 93.56 -41.50	
			102	-438.31 50.37 -49.60 0.00 118.12 -74.59	
			103	-580.01 38.47 -95.23 0.03 221.81 -56.60	
			104	-201.27 40.22 6.14 -0.03 -10.69 -59.53	
			201	-348.62 25.60 -37.50 -0.01 87.78 -37.59	
			202	-476.95 53.44 -52.83 0.01 126.19 -78.93	
			203	-773.47 37.84 -145.84 0.07 337.56 -55.47	
			204	-30.57 40.73 54.14 -0.07 -120.29 -60.42	
			301	-141.20 -16.22 -2.58 -0.02 4.40 26.05	
			302	-229.01 5.85 -12.45 -0.01 28.97 -7.05	
			303	-370.70 -6.05 -58.09 0.02 132.66 10.94	
			304	8.04 -4.30 43.29 -0.05 -99.84 8.01	
			401	-139.31 -18.92 -0.35 -0.02 -1.37 29.95	
			402	-267.64 8.92 -15.68 -0.01 37.04 -11.38	
			403	-564.16 -6.68 -108.69 0.06 248.41 12.07	
			404	178.74 -3.79 91.29 -0.09 -209.44 7.13	

Figura 7.1o – Forças no membro que apresenta tensão máxima nas fundações do trecho 3C

Fundações do trecho 3T

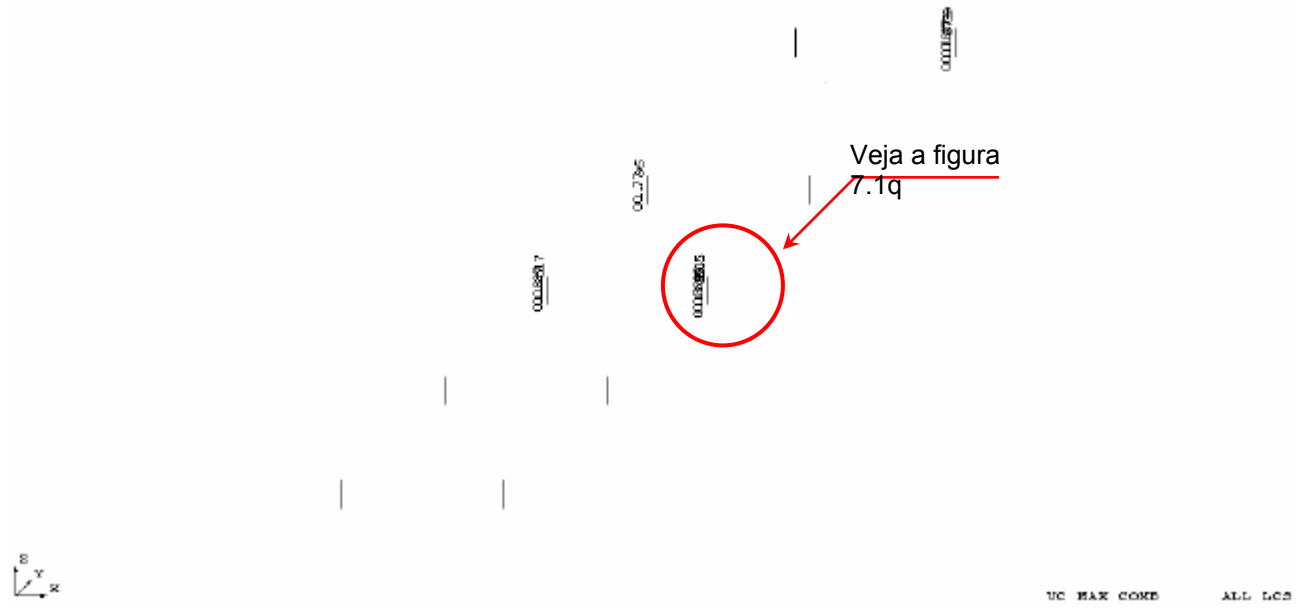


Figura 7.1p – Verificação das tensões das fundações do trecho 3T, fatores de utilização acima de 0.75

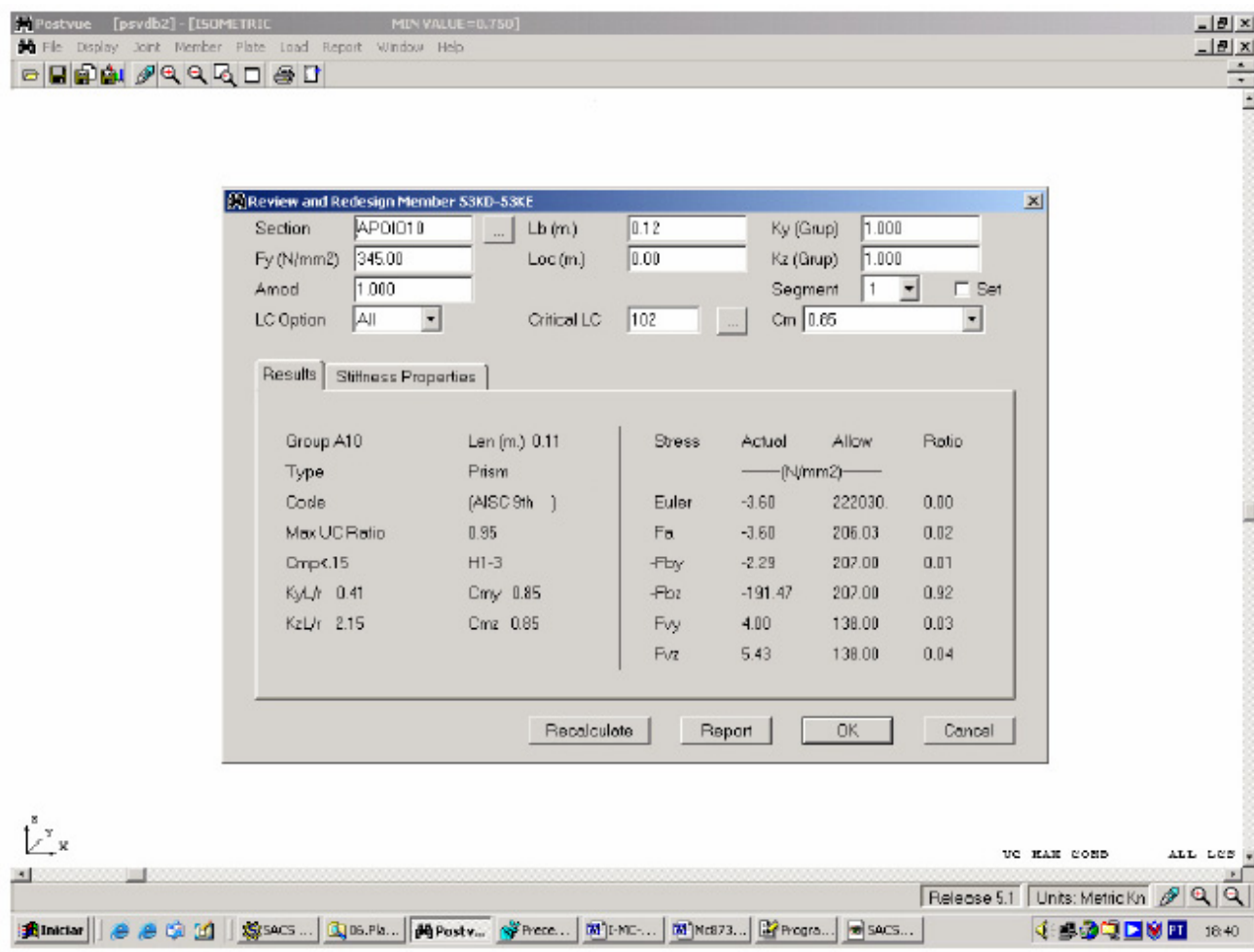


Figura 7.1q – Tensões máximas das fundações do trecho 3T

SACS-IV SYSTEM MEMBER FORCES AND MOMENTS

MEMBER	MEMBER	GROUP	LOAD	FORCE (X)	FORCE (Y)	FORCE (Z)	MOMENT (X)	MOMENT (Y)	MOMENT (Z)
				EN	EN	EN	EN	EN	EN
				NUMBER	END	ID	CASE		
53KD-53KE	53KD	A10	101	-192.32	-29.17	30.30	0.77	-7.59	60.56
			102	-91.80	48.86	44.73	1.57	-16.15	-108.78
			103	41.22	9.90	-25.52	1.17	19.82	-24.14
			104	-319.05	9.80	99.02	1.16	-37.12	-24.03
			201	-204.98	-38.23	26.16	0.66	-6.85	79.90
			202	-111.24	58.05	56.93	1.69	-13.29	-128.34
			203	182.41	9.94	-75.56	1.18	42.62	-24.19
			204	-390.42	9.75	126.29	1.16	-48.55	-23.92
			301	-181.71	-38.22	24.55	-0.16	-6.95	83.57
			302	-81.19	39.83	38.98	0.65	-9.52	-85.75
			303	51.82	0.85	-31.27	0.25	20.47	-1.13
			304	-308.44	0.75	93.27	0.24	-36.48	-1.02
			401	-194.38	-47.28	20.41	-0.26	-6.21	102.91
			402	-100.64	49.00	51.18	0.77	-12.65	-105.33
			403	193.02	0.89	-81.31	0.26	43.26	-1.18
			404	-379.81	0.70	120.54	0.24	-47.91	-0.91

Figura 7.1r – Forças no membro que apresenta tensão máxima nas fundações do trecho 3T

7.2 – DESLOCAMENTOS

A tabela 8.2a apresenta as máximas deflexões da estrutura para cada combinação. Grande parte dos deslocamentos são provenientes das deflexões de viga-navio (“sagging” 101 a 204 e “hogging” 301 a 304). A figura 8.2a apresenta a forma da deflexão para a combinação 203.

O critério de aceitação para os deslocamentos relativos foi de $L/300$.

***** MAXIMUM JOINT DEFLECTION REPORT *****

LOAD CASE	*** X-DIRECTION ***		*** Y-DIRECTION ***		*** Z-DIRECTION ***	
	JOINT	DEFLECTION CM	JOINT	DEFLECTION CM	JOINT	DEFLECTION CM
101	421H	7.8627	66ZX	1.2971	67FR	-35.6012
102	66ZW	-22.7648	66ZX	1.1806	4130	-35.6441
103	4187	-15.4064	66ZX	3.4470	67FR	-35.6670
104	511Z	-14.8837	425S	-2.9974	67FR	-35.5146
201	421H	9.5394	66ZX	1.3991	67FR	-35.5939
202	66ZW	-25.8893	66ZX	1.2996	4130	-35.6804
203	4187	-16.9887	4180	5.9737	67FR	-35.7311
204	511Z	-15.0948	417Z	-5.9784	4284	-35.5499
301	4187	13.5793	66ZX	1.2937	4130	16.7055
302	509P	-9.0261	66ZX	1.1772	4283	16.5616
303	5121	4.3482	66ZX	3.4437	4131	16.6423
304	4187	6.3457	417Z	-2.8312	4132	16.6492
401	4187	16.9184	66ZX	1.3958	4130	16.7285
402	509P	-10.7519	66ZX	1.2963	4132	16.5503
403	5121	4.5057	4180	6.0370	4131	16.6645
404	4187	8.0118	417Z	-5.9159	4132	16.6655

Tabela 7.2a – Máximos deslocamentos para cada combinação

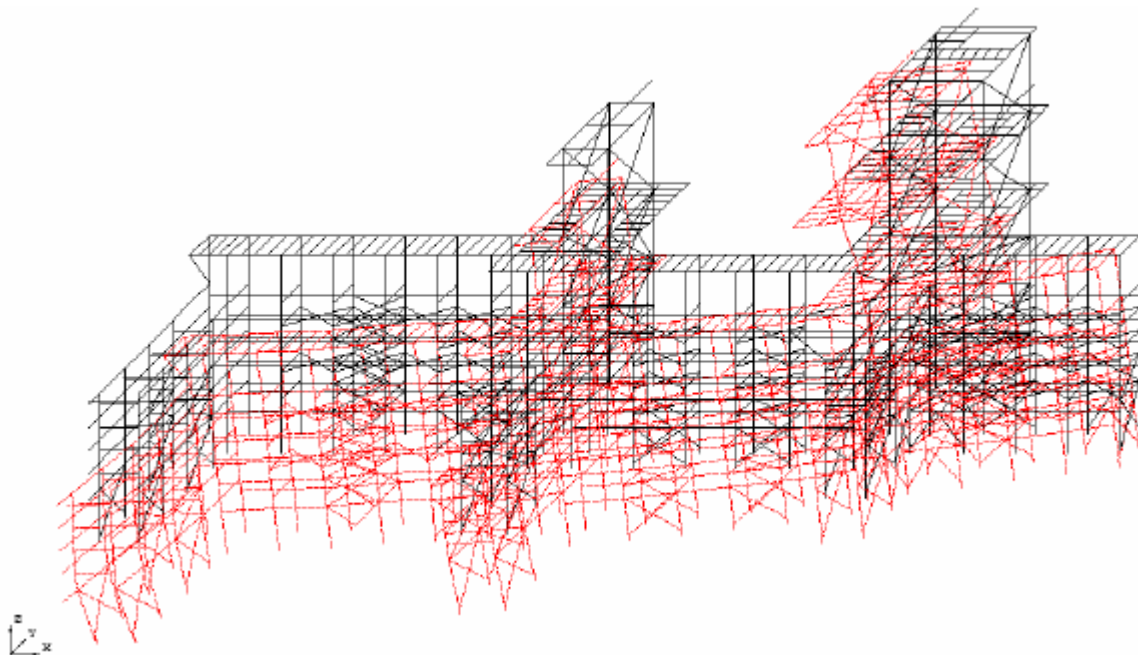


Figura 7.2a – Forma da deflexão para a combinação 203

7.3 – VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES

As tensões flexo-axiais de todos os membros foram verificadas de acordo com as premissas da API-RP2A e a AISC 9th. Alguns membros tiveram seus fatores de utilização acima de 1.00 e serão reforçados localmente como pode ser observado na tabela 8.3a e a figura 8.3a.

SACS IV - * * * M E M B E R G R O U P S U M M A R Y * * *																	
API RP2A 21ST/AISC 9TH																	
GRUP ID	CRITICAL MEMBER	LOAD COND	MAX. UNITY CHECK	DIST FROM END	* APPLIED STRESSES *			*** ALLOWABLE STRESSES ***				CRIT COND	EFFECTIVE LENGTHS		CM VALUES *		
					AXIAL	BEND-Y	BEND-Z	AXIAL	EULER	BEND-Y	BEND-Z		KLY	KLE	Y	Z	
					M	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2	N/MM2		M	M		
A10	53KD-53KE	102	0.95	0.0	-3.60	-2.29-191.45		206.03*****	207.00	207.00	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
A11	99P-53KD	102	0.83	0.0	-3.33	-2.82-164.82		206.08*****	207.00	207.00	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
AP1	780-53GJ	203	0.79	0.0	-7.15	122.55 33.57		197.96*****	198.35	198.35	BEND	0.1	0.1	0.85	0.85		
AP2	639-53HA	104	0.73	0.0	-25.90	-70.49 12.50		148.80*****	148.80	148.80	C>.15B	0.1	0.1	0.85	0.85		
AP8	53KF- 99S	102	0.85	0.0	-4.10	0.05-171.70		206.08*****	207.00	207.00	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
AP9	53KE-53KF	102	0.90	0.0	-3.83	-1.33-181.62		206.05*****	207.00	207.00	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
COL	415U-5335	102	1.21	0.0	-23.57	-5.17-276.79		205.55*****	227.70	258.75	C<.15	0.2	0.2	0.85	0.85		
A15	443-53HV	204	0.47	0.0	-21.93	104.37 4.35		275.51*****	275.93	275.93	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
A14	53HV-53HW	204	0.88	0.0	-31.98	199.75 10.59		275.21*****	275.93	275.93	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
A13	53HW-53HX	204	0.88	0.0	-35.64	200.94 7.33		275.03*****	275.93	275.93	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
A12	53HX- 444	204	0.85	0.0	-40.25	191.89 0.93		274.85*****	275.93	275.93	C<.15	0.1	0.1	0.85	0.85		
CTR	221- 200	203	0.78	0.0	-5.90	-78.07-172.00		233.81	746.62	303.52 344.91	C<.15	2.7	2.7	0.85	0.85		
T01	201- 202	203	0.65	3.1	-44.82	10.62-138.79		202.04	331.99	275.93 344.91	C>.15A	3.1	3.1	0.85	0.85		
T02	205- 329	203	0.59	0.0	-40.17	-14.77 126.29		275.939963.40	303.52	344.91	C>.15B	0.6	0.6	0.85	0.85		
T03	209- 309	203	0.68	0.0	-42.55	-15.74 147.87		275.932287.60	303.52	344.91	C>.15B	1.2	1.2	0.85	0.85		
T04	665- 630	203	0.95	1.2	-39.45	-54.00 189.69		275.932287.63	303.52	344.91	C>.15B	1.2	1.2	0.85	0.85		
T11	6134-616H	102	0.86	4.2	-55.90	-7.42 1.60		75.52	77.54	186.00 186.00	C>.15A	4.2	4.2	0.85	0.85		
TT1	148- 147	203	0.52	0.0	-0.96-156.19	-1.77		233.81	746.62	303.52 344.91	C<.15	2.7	2.7	0.85	0.85		
TT2	408P-412Q	101	0.70	0.0	1.32	13.19-149.06		207.003861.32	227.70	258.75	TN+BN	0.8	0.8	0.85	0.85		
TT3	408O-412T	101	0.62	0.0	-0.16	15.70-140.92		200.55*****	227.70	258.75	C<.15	0.4	0.4	0.85	0.85		
TT4	509E-412M	101	0.71	0.4	0.12	16.19 162.06		207.00*****	227.70	258.75	TN+BN	0.4	0.4	0.85	0.85		
TT5	509X-509N	101	0.75	0.5	-2.03	6.65 183.91		198.868319.99	227.70	258.75	C<.15	0.5	0.5	0.85	0.85		
TUB	727-66Q2	101	1.02	0.0	-103.38	-37.14 -3.53		128.24	641.05	180.00 180.00	C>.15A	2.2	2.2	0.85	0.85		
V00	110- 145	102	0.63	0.0	8.84	120.03 0.80		207.00	184.48	207.00 258.75	TN+BN	3.7	3.7	0.85	0.85		
V01	202- 399	103	0.73	0.0	-41.35	11.25 -72.78		123.95	142.12	174.62 258.75	C>.15A	4.2	4.2	0.85	0.85		
V02	510- 594	101	0.68	4.5	-36.35	-51.69 -17.37		114.97	123.68	162.90 258.75	C>.15A	4.5	4.5	0.85	0.85		
V03	522- 571	204	0.82	4.5	-49.03	-40.91 -96.35		153.26	164.87	217.15 344.91	C>.15A	4.5	4.5	0.85	0.85		
V04	576- 800	204	0.90	0.0	-64.06	-94.82 -31.65		159.62	177.16	225.10 344.91	C>.15A	4.3	4.3	0.85	0.85		
V1	67G1-606S	102	0.51	0.0	-1.87	-73.28 -0.13		147.61*****	148.80	148.80	C<.15	1.2	1.2	0.85	0.85		
V10	605I-679P	101	0.76	1.3	13.15	-54.79 -19.36		148.80*****	148.80	148.80	SHZAR	1.3	1.3	0.85	0.85		
V11	64YH-64YI	303	0.42	0.1	-6.83	-13.32 17.05		148.66*****	148.80	148.80	SHZAR	0.1	0.1	0.85	0.85		
V12	6674-6673	302	0.59	0.2	-1.82	-33.67 27.10		148.52*****	148.80	148.80	SHZAR	0.2	0.2	0.85	0.85		
V2	651E-67G0	102	1.21	0.7	-1.33	-47.86 24.47		148.18*****	148.80	148.80	SHZAR	0.7	0.7	0.85	0.85		

V3	6007-600Q	204	0.51	0.0	-23.56	62.57	-0.13	197.89*****	198.35	198.35	SHEAR	0.4	0.4	0.85	0.85	
V4	67FN-604L	102	0.85	0.7	3.78	-50.29	-12.71	148.80*****	148.80	148.80	SHEAR	0.7	0.7	0.85	0.85	
V5	600D-640S	304	0.59	0.0	-24.62	87.16	-0.36	148.80*****	148.80	148.80	BEND	0.2	0.2	0.85	0.85	
V6	65RX-65RY	302	0.35	0.2	16.73	14.34	-21.54	148.80*****	148.80	148.80	TN+BN	0.2	0.2	0.85	0.85	
V7	67H8-603E	104	1.07	0.0	5.20	9.28	-8.74	148.80*****	148.80	148.80	SHEAR	0.3	0.3	0.85	0.85	
V8	677F-677G	104	0.79	0.3	-3.87	-30.75	-23.85	148.49*****	148.80	148.80	SHEAR	0.3	0.3	0.85	0.85	
V9	67GL-6076	104	0.53	0.0	-5.53	-68.52	-4.79	147.44*****	148.80	148.80	C<.15	1.2	1.2	0.85	0.85	
VT0	588- 561	204	0.59	2.3	-37.67	-89.61	43.71	275.93	633.69	275.93	344.91	C>.15B	2.3	2.3	0.85	0.85
VT1	224- 225	203	0.64	0.0	-0.40	-22.59	192.22	200.27	331.99	275.93	344.91	C<.15	3.1	3.1	0.85	0.85
VT2	681- 569	204	0.58	0.4	-6.76	-96.58	80.70	267.34*****	303.52	344.91	C<.15	0.4	0.4	0.85	0.85	
VT3	677- 573	204	0.85	0.4	-24.44	-129.78	114.13	270.87*****	303.52	344.91	C<.15	0.4	0.4	0.85	0.85	

Tabela 7.3a – Máximo fator de utilização para cada grupo de membros.

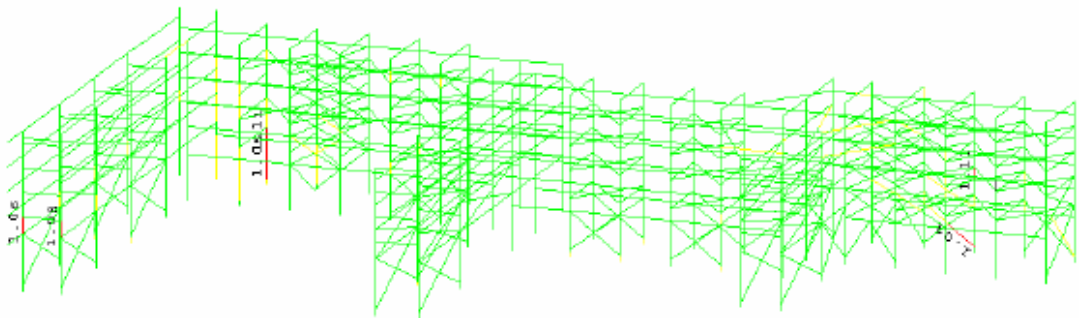


Figura 7.3a – Membros que serão reforçados localmente.

8 - CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra os efeitos dos carregamentos devidos ao estado de mar e vento em uma estrutura de uma plataforma do tipo FPSO.

Os resultados mostrados até aqui demonstram que a estrutura está apta para o uso para o qual ela foi idealizada.

Os carregamentos devidos ao estado de mar para efeitos globais se tornam, muitas vezes os casos de carga dimensionantes, daí a iniciativa de algumas empresas de petróleo em projetar plataformas com menos movimentos de translação e rotação.

Um ponto não explorado neste trabalho, e que merece destaque, é a análise de fadiga dos carregamentos cíclicos e sua influência no dimensionamento da estrutura.

Além disso, a consideração de adernamento da embarcação também seria uma sugestão a ser explorada em trabalhos futuros.

9- REFERÊNCIAS

9.1 NORMAS UTILIZADAS

[1] API-RP-2A - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design, 21th edição, 2000.

[2] AWS D1.1 - Structural Welding Code, março de 2004.

[3] AISC 9th - Manual of Steel Construction – Allowable Stress Design – 3ª edição, Janeiro de 2003.

[4] DNV RP-C102 – Det Norske Veritas – Structural Design of Offshore Ships – Fevereiro de 2002.

[5] I-ET-3010.01-135-140-PPC-002 – Structural Requirements.

[6] I-ET-3010.01-135-960-PPC-001 – Naval Requirements.

ANEXO 1

4.0 COMMENTARY

4.1 DETERMINING INERTIA FORCES

The Tow program module generates reverse effect or D'Alembert inertia forces in the opposite direction of applied translational and rotational accelerations.

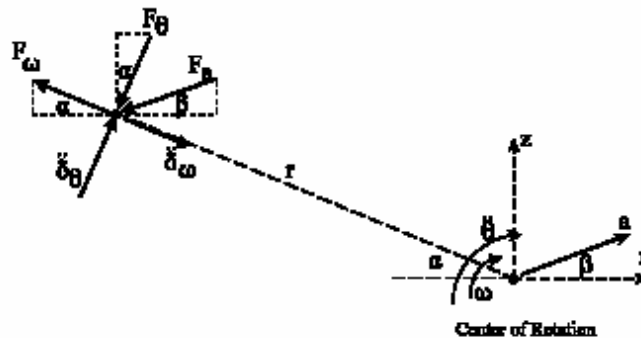
In the figure below, for any point on the structure with mass m , the inertia force, F_a , due to a translational/linear acceleration vector a , is determined by:

$$F_a = -ma$$

The force component acting along an axis x , F_{ax} , is

$$F_{ax} = -ma_x \quad (1)$$

where a_x is the component of the acceleration vector a along the axis ($a_x = a \cos\beta$).



The tangential acceleration δ_θ and the centrifugal acceleration δ_ω due to the rotation of the structure, may be taken as follows:

$$\delta_\theta = r\ddot{\theta} \quad \delta_\omega = r\omega^2$$

where ω and $\ddot{\theta}$ are the angular velocity and angular acceleration about the center of rotation. The tangential and centrifugal forces are:

$$F_\theta = -m(r\ddot{\theta}) \quad F_\omega = -m(\omega^2 r)$$

The components along axis x of the rotational inertia forces F_θ and F_ω are:

$$F_{\theta_x} = -m(r\ddot{\theta} \sin\alpha) \quad (2) \quad F_{\omega_x} = -m(\omega^2 r \cos\alpha) \quad (3)$$

Combining equations 1, 2 and 3 yields the total inertia force along axis x, F_x , due to translational and rotational accelerations.

$$F_x = -m(a_x + r\ddot{\theta} \sin\alpha + \omega^2 r \cos\alpha)$$

If the angular velocity is negligible, $\omega=0$, the total inertia force along axis x is as follows:

$$F_x = -m(a_x + r\ddot{\theta} \sin\alpha) \quad (4)$$


Note: The TOW program assumes that the mass, m, is positive mass and equal for all directions.

ANEXO 2

	TECHNICAL SPECIFICATION	No. <i>I-ET-3010.01-1350-140-PPC-002</i>	REV. <i>B</i>
	AREA OR UNIT	<i>FPSO UNIT P-34</i>	
	SHEET	<i>5 of 21</i>	
TITLE STRUCTURAL REQUIREMENTS			
<p>The structural design shall comprise the following analyses and all the CS requirements not listed here:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Structural Verification (Yielding and Buckling); - Local Analyses; - Fatigue Analysis; - Complementary Structures Design. <p>The International System of Units (SI) shall be used in the analyses, reports and drawings. CAD drawings shall be provided in a system format compatible with the software Microstation, developed by Bentley Systems, Incorporated.</p> <p>2. SCOPE COVERED BY THE TECHNICAL SPECIFICATION</p> <p>The supports and complementary structures for the new equipment, according to I-LI- LIST OF NEW EQUIPMENT shall be designed, calculated, constructed and assembled by the CONTRACTOR. CONTRACTOR is also responsible for all reinforcements in the hull and process plant deck due to the new equipment.</p> <p>The CONTRACTOR shall reallocate existing piping, hull outfits and complementary structures that interfere with the new equipment. The CONTRACTOR shall also remove support structures and skids from excluded equipment, according to I-LI- LIST OF EXCLUDED EQUIPMENT.</p> <p>The structural weight of the excluded, added and existing structures shall be taken into account in the Weight Control and Loading Conditions Report to be issued by the CONTRACTOR. It is CONTRACTOR's responsibility to evaluate the weight during all phases, from the design to the installation.</p> <p>3. DESIGN PREMISES</p> <p>In the structural design of the new equipment foundations the following design premises shall be taken into account in complement to the CS requirements.</p> <p>3.1. LOADING CONDITIONS</p> <p>The new equipment foundations shall be verified for the combined functional and adequate environmental loading conditions and shall also withstand the environmental loadings in transit condition from construction site to Jubarte Field, in Campos Basin.</p> <p>Sections 3.1.1 to 3.1.4 define the environmental data to be taken into account on each loading condition. The environmental data shall follow I-ET-METOCEAN DATA and CS requirements.</p> <p>3.1.1. Design Operating Condition (Doc)</p> <p>The design operating condition refers to 1-year return period waves, wind and current.</p> <p>3.1.2. Design Extreme Condition (Dec)</p> <p>The extreme environmental condition refers to the worst between:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 50-year return period waves, 50-year return period wind and 10-year return period current; - 50-year return period waves, 50-year return period current and 10-year return period wind. <p>The Unit shall withstand the environmental limits for swell conditions, as specified in I-ET-NAVAL REQUIREMENTS.</p>			

STANDARDIZED FORM BY SP-28-0004 - FIGURE B-1

ANEXO 3

 PETROBRAS	TECHNICAL SPECIFICATION	No.: I-ET-3010.01-1350-960-PPC-001
	Unit: FPSO UNIT P-34	Sheet: 7 of 9
	Title: NAVAL REQUIREMENTS	

4.2.3 - Process Plant Equipment and Utility Systems

4.2.3.1 - Operational Limits

NORMAL OPERATION CONDITION

CONTRACTOR shall consider “to operate normally” as a condition of normal operation in terms of process plant and utility systems, considering the facilities with no alarms or abnormal process. In addition, it shall be considered as “normal operation” the continuous operations of loading/offloading cargo tanks, pull-in/out of risers, handling, transport, lifting of materials and equipment, transfer of dry and liquid consumables to the vessel and onboard the FPSO as well as maintenance of process plant equipment, utility systems and marine systems.

All process plant equipment shall be able to operate under the following conditions (at the same time):

- Roll angle: 10.0°; associated period = 12 sec
- Pitch angle: 3.5°; associated period = 12 sec

CONTRACTOR shall consider as Utility Systems all facilities employed to provide power generation, water for cooling, compressed air and VAC to keep the vessel operating even with process plant under shutdown condition.

All utility systems shall be able to operate under the following conditions (at the same time):

- . Roll angle: 15.0°; associated period = 12 sec
- . Pitch angle: 3.5°; associated period = 12 sec

This requirement is also applied for the towing condition, from shipyard to final location (condition of 4.2.1 “b” above).


4.2.3.2 Acceleration and Load Factors for structural analysis of process plant modules and other structures of the Unit.

To determine the accelerations of the MODULE’s structure due to the motions of the vessel, loading factors shall be included in the structural analysis.

The heave acceleration, roll and pitch angles for the DEC (Design Extreme Conditions) and DOC (Design Operation Condition) are defined below:

- **Roll motion:**

	θ_{ROLL} (deg)	T_{ROLL} (sec)
DEC	25.3	13.5
DOC	12.1	14.2

 PETROBRAS	TECHNICAL SPECIFICATION	No.: I-ET-3010.01-1350-960-PPC-001
	Unit: FPSO UNIT P-34	Sheet: 8 of 9
	Title: NAVAL REQUIREMENTS	

– **Pitch motion:**

	θ_{PITCH} (deg)	T_{PITCH} (sec)
DEC	4.3	13.1
DOC	3.4	11.9

– **Heave acceleration:**

	A_{HEAVE} (m/s ²)
DEC	1.64
DOC	0.66

The heave accelerations above correspond to the unit's CoG.

The CoG coordinates (measured from the midship section, center line and keel) are:

	X	Y	Z
CoG	2.8	0.0	8.2

The loading factors to account for accelerations in DEC and DOC conditions shall be evaluated by the following formulas:

a) Head Sea:

- Longitudinal acceleration:

$$A_{X_{HS}} = \pm \left[\frac{\pi}{180} \theta_{PITCH} \left(\frac{2\pi}{T_{PITCH}} \right)^2 \cdot R_{VERT} + \sin \left(\frac{\pi}{180} \theta_{PITCH} \right) \cdot g \right]$$

- Vertical Acceleration:

$$A_{Z_{HS}} = \pm \left[\frac{\pi}{180} \theta_{PITCH} \left(\frac{2\pi}{T_{PITCH}} \right)^2 \cdot R_{LONG} + \cos \left(\frac{\pi}{180} \theta_{PITCH} \right) \cdot g \right]$$

b) Beam Sea:

- Transverse acceleration:

$$A_{Y_{BS}} = \pm \left[\frac{\pi}{180} \theta_{ROLL} \left(\frac{2\pi}{T_{ROLL}} \right)^2 \cdot R_{VERT} + \sin \left(\frac{\pi}{180} \theta_{ROLL} \right) \cdot (g + A_{HEAVE}) \right]$$

- Vertical Acceleration:

$$A_{Z_{BS}} = \pm \left[\frac{\pi}{180} \theta_{ROLL} \left(\frac{2\pi}{T_{ROLL}} \right)^2 \cdot R_{TRANSV} + \cos \left(\frac{\pi}{180} \theta_{ROLL} \right) \cdot (g + A_{HEAVE}) \right]$$