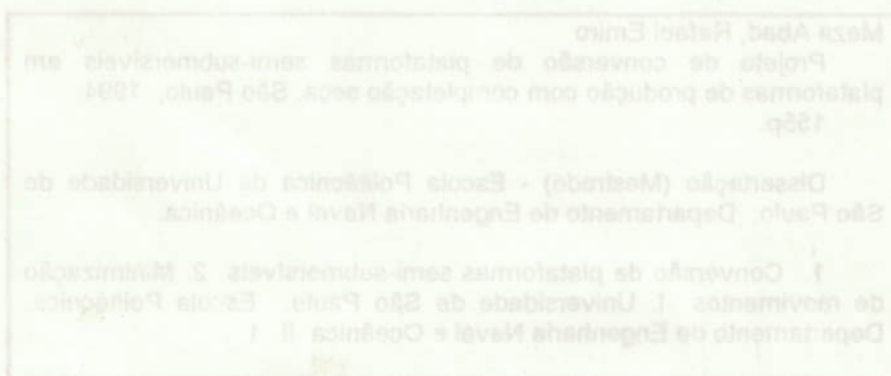


RAFAEL EMIRO MEZA ABAD

**PROJETO DE CONVERSÃO DE PLATAFORMAS SEMI-SUBMERSÍVEIS EM
PLATAFORMAS DE PRODUÇÃO COM COMPLETAÇÃO SECA.**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia.**



São Paulo

1994

RAFAEL EMIRO MEZA ABAD

**PROJETO DE CONVERSÃO DE PLATAFORMAS SEMI-SUBMERSÍVEIS EM
PLATAFORMAS DE PRODUÇÃO COM COMPLETAÇÃO SECA.**

**Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica.**

**Orientador:
Prof. Dr. Kazuo Nishimoto.**

São Paulo

1994

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600009984

A **PEDRO NEL**, a quem a vida não deu a oportunidade que todos merecemos. Pedro, você partiu muito cedo e minha vida por mais que me esforce nunca será a mesma. Além de um irmão, perdi meu melhor amigo. Mas, ainda tenho a esperança que nosso senhor nos reuna algum dia para "matar" esta saudade que tenho e falar-te quanto te amamos em casa.

Irmão meu !. Nunca vou-te esquecer e gravarei tua imagem no meu coração pelo resto da minha vida.

Rafael Emiro.

AGRADECIMENTOS.

A meus queridos pais e irmãs, pelo amor, apoio e compressão dada ao longo da minha vida..

A meu orientador Prof. Dr. Kazuo Nishimoto, por sua ajuda e orientação, tripé fundamental para a conclusão desta pesquisa.

Ao Prf. Dr Oscar Brito Augusto e Carlos A Nunes Dias pela ajuda prestada no presente trabalho.

Ao CNEI Manuel Rincón Bolivar, que fez possível minha vinda ao Brasil.

Ao Engenheiro André J.P. Leite, pela orientação dada nas etapas iniciais desta pesquisa.

A ULTRATEC ENGENHARIA S.A e ao Sr Carlos Menendes Gonzalez, pelos dados apresentados, os quais foram bases sólidas para a conclusão deste estudo.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

E a você Myrian...

SUMÁRIO

PAG

1	Introdução	1
2	Filosofia do projeto de conversão de semi-submersíveis (s.s)	9
2.1	Generalidades	9
2.2	Espiral do projeto para conversão de s.s	9
2.2.1	Generalidades	9
2.3	Procedimentos e critérios aplicados na espiral do projeto de conversão	16
2.3.1	Seleção da plataforma	17
2.3.1.1	Seleção das plataformas candidatas	18
2.3.1.2	Avaliação das plataformas selecionadas	19
2.3.1.2.1	Avaliação geral da plataforma a ser convertida	20
2.3.1.2.2	Vida residual das plataformas semi-submersíveis	23
2.3.1.2.3	Escolha final da plataforma	27
2.3.2	Arranjo geral	28
2.3.3	Dimensões principais.	32
2.3.4	Estabilidade intacta	31
2.3.5	Hidrodinâmica	48
2.3.6	Estrutura	65
3	Exemplo aplicativo do projeto de conversão de semi-submersível	76
3.1	Requisitos do armador	76
3.2	Seleção da plataforma a ser convertida	77
3.2.1	Capacidade de aumento de cargas no convés da plataforma PBXIII	81
3.3	Distribuição das áreas para o sistema de produção	85
3.4	Dimensões principais e estabilidade inicial	89
3.5	Comportamento em ondas	94

3.5.1	Comportamento em ondas do modelo PBXIII e S24800	95
3.6	Análise estrutural	108
3.6.1	Verificação do módulo resistente segundo normas da ABS	109
3.6.2	Cálculo das <i>split forces</i> para os modelos PBXIII e S24800	112
3.6.3	Análises global da estrutura antes e após da conversão	114
3.6.4	Análise das seções transversais do tubulão no modelo S24800	119
3.6.4.1	Seção transversal C1	121
3.6.4.2	Seção Transversal C2	123
4	Conclusões	127
5	Anexos	132
5.1	Anexo A	132
5.2	Anexo B	137
5.3	Anexo C	146
6	Referências bibliográficas	150
6.1	Bibliografia complementar	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1a	Espiral do projeto de conversão
Figura 2.1b	Projeto de conversão de semi-submersíveis
Figura 2.2	Determinação do calado de projeto
Figura 2.3	Calado de operação e <i>air gap</i> .
Figura 2.4	Pontos afetados pela corrosão
Figura 2.5	Distribuição das áreas no convés
Figura 2.6	Distribuição dos <i>blisters</i> e <i>sponsons</i>
Figura 2.7	Coefficiente de massa adicional em arfagem.
Figura 2.8	Filosofia de parametrização
Figura 2.9	Parâmetros de estabilidade
Figura 2.10	Curvas de emborcamento e restauração
Figura 2.11	Resposta em arfagem
Figura 2.12	Curvas de resposta e espectro do mar
Figura 2.13	Forças de excitação em arfagem
Figura 2.14	Elementos dos tubulões
Figura 2.15	Metodologia para análise hidrodinâmica
Figura 2.16	Distribuição do casco submerso
Figura 2.17	Metodologia de análise estrutural
Figura 2.18	Modelo de elementos finitos
Figura 2.19	Carregamentos de projeto
Figura 2.20	Diagrama de tensões
Figura 2.21	Carregamentos numa seção transversal
Figura 2.22	Diagrama de tensões e momento fletor
Figura 3.1	Dimensões principais PBXIII.
Figura 3.2	Arranjo inicial PBXIII
Figura 3.3a	Distribuição das áreas no convés superior

Figura 3.3b	Distribuição das áreas do convés inferior
Figura 3.3c	Arranjo final da PBXIII após a conversão
Figura 3.4	Formas do casco submerso obtidas pelo programa FORMAS
Figura 3.5	Formas do casco submerso para análises
Figura 3.6	Resposta em arfagem PBXIII
Figura 3.7	Resposta em arfagem S24800
Figura 3.8	Seção transversal dos <i>sponsons</i>
Figura 3.9a	Eixos principais
Figura 3.9b	Curvas de estabilidade $\alpha = 0^\circ$
Figura 3.9c	Curvas de estabilidade $\alpha = 90^\circ$
Figura 3.9d	Curvas de estabilidade $\alpha = 22.31^\circ$
Figura 3.9e	Curvas de braços adrizantes GZ
Figura 3.10	<i>Split forces</i> numa plataforma semi-submersível
Figura 3.11	Modelo de elementos finitos para análise global
Figura 3.12	Carregamento para análise global
Figura 3.13	Tensões no modelo PBXIII
Figura 3.14	Tensões no modelo S24800
Figura 3.15	Tipos de seções transversais
Figura 3.16	Carregamentos de projetos
Figura 3.17	Seção transversal C1
Figura 3.18	Tensões axiais no flange do perfil
Figura 3.19	Seção transversal C2
Figura 3.20	Deformada da seção C2
Figura 3.21	Diagrama de momento fletor em C2
Figura 3.22	Diagrama de tensões em C2

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Requisitos do armador
Tabela 2.2	Primeiro ciclo do projeto de conversão
Tabela 2.3	Segundo ciclo do projeto de conversão
Tabela 2.4	Requisitos e critérios de estabilidade intacta
Tabela 2.5	Condições dos ventos para os critérios de estabilidade
Tabela 2.6	Dimensões do modelo S24000
Tabela 2.7	Amplitude significativa das áreas de flutuação
Tabela 2.8	Amplitude significativa dos <i>sponsons</i>
Tabela 3.1	Requisitos do armador
Tabela 3.2	Variáveis principais PBXIII
Tabela 3.3	Deslocamento de projeto
Tabela 3.4	Peso estrutural
Tabela 3.5	Carregamento total após a conversão
Tabela 3.6	KG Máximo permissível
Tabela 3.7	Dimensões parametrizadas
Tabela 3.8	Dimensões dos modelos S24800 e PBXIII
Tabela 3.9	Amplitude significativa dos modelos S24800 e PBXIII
Tabela 3.10	Resposta para modificações nos <i>sponsons</i>
Tabela 3.11	Perfis estruturais da plataforma PBXIII
Tabela 3.12	Módulo resistente segundo regras ABS
Tabela 3.13	<i>Split forces</i> atuantes nos modelos S24800 e PBXIII
Tabela 3.14	Características dos perfis estruturais
Tabela 3.15	Carregamento de projetos
Tabela 3.16	Características dos perfis estruturais na seção C1
Tabela 3.17	Características dos perfis estruturais na seção C2

LISTA DE SÍMBOLOS

a_{ij}	=	Massa adicional na direção i , devido ao movimento na direção j
A_a	=	Amortecimento viscoso e de geração de ondas.
AP	=	Peso das amarras no paiol.
AT	=	Peso das amarras no tubulão.
At	=	Área total do perfil.
As	=	Área de cisalhamento.
A_{wj}	=	Área de flutuação do elemento i .
A_w	=	Área de flutuação.
b_{ij}	=	Amortecimento na direção i , devido ao movimento do corpo na direção j .
bt	=	Boca do tubulão na equação de deslocamento.
b_2	=	Boca do tubulão na equação de movimento.
bs	=	Boca dos <i>sponsons</i> .
B	=	Centro de carena.
$\bar{B}M$	=	Raio metacêntrico.
c_{ij}	=	Coefficiente de restauração na direção i , devido ao movimento do corpo na direção j .
C_{33}	=	Coefficiente de massa adicional em arfagem.
CF	=	Peso das cargas fixas.
F_i	=	Força na direção i .
F_c	=	Força nas colunas.
F_p	=	Força nos tubulões.
F_{z1}	=	Parcela de froude-krilov.
F_{z2}	=	Força de difração.
g	=	Aceleração da gravidade.
G	=	Centro de massa da plataforma
$\bar{G}M$	=	Altura metacêntrica inicial.
ht	=	Altura do tubulão
IT	=	Momento de inércia de área.
I	=	Momento de inércia I em relação ao eixo principal.
k	=	Número de ondas w^2/g .
$\bar{K}B$	=	Valor da coordenada vertical de carena
$\bar{K}G$	=	Altura do centro de gravidade em relação a quilha.
$\bar{K}M$	=	Altura do metacentro.
Lt	=	Comprimento total.
ls	=	Comprimento dos <i>sponsons</i> .
m_j	=	Massa adicionada do elemento j .
M	=	Metacentro.
Mo	=	Área do espectro de resposta em arfagem.
MT	=	Momento de emborcamento.
MR	=	Momento restaurador.
PE	=	Peso estrutural da plataforma.
s	=	Superfície do corpo.
S_i	=	Deslocamento na direção i .
S_w	=	Energia do espectro do mar em $m^2 \cdot s$.
S_{wj}	=	Energia espectro resposta em $m^2 \cdot s$.
SM	=	Módulo resistente cm^3 .
TH	=	Período natural de arfagem.

T_0 a T_a	=	Períodos de cancelamento de forças.
T_P	=	Período pico do espectro do mar.
RV_s	=	Relação Volumes tubulão - Volumes coluna.
X	=	Incógnita das cargas variáveis.
X_j	=	Coordenada em X do centro de massa do elemento j.
Y	=	Incógnita do lastro.
Y_j	=	Coordenada em Y do centro de massa do elemento j.
Z_{33}	=	Amplitude adimensional do movimento de arfagem.
$Z_{1/3}$	=	Amplitude significativa do movimento de arfagem.
Z_{mj}	=	Coordenada vertical do centro de massa do elemento j.
Δ_{adc}	=	Massa adicional em arfagem.
Δ_{col}	=	Deslocamento das colunas.
Δ_{tot}	=	Deslocamento total da plataforma.
Δ_{tub}	=	Deslocamento dos tubulões.
ρ	=	Densidade do fluido.
θ	=	Ângulo de inclinação.
Φ	=	Potencial de onda incidente.
χ	=	Direção da onda.
ζ_a	=	Amplitude da onda.
Δ_j	=	Deslocamento do elemento j.
Φ_b	=	Diâmetro do <i>blister</i> em volta das colunas.
Φ_c	=	Diâmetro da coluna.

ABSTRACT

This work presents general procedures for semi-submersible platform conversion from drilling to production services. The main goal of these criteria, if possible, is to reduce the platform heave motion making possible the use of rigid risers and Christmas tree from the platform main deck.

The approach was made using the design spiral development proposed by The American Bureau of Shipping.

To validate the approach adopted some we made some calculations on a Brazilian semisubmersible platform, PETROBRAS XIII, which has been converted from a prospecting to a production platform.

RESUMO

O presente trabalho trata dos aspectos relevantes ao projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis. Os procedimentos e critérios aplicados na conversão de plataformas semi-submersíveis tem, sempre no possível, o objetivo de viabilizar e compatibilizar aspectos referentes a diversas disciplinas da engenharia oceânica, aspectos estes que, por muitas vezes são até antagônicos.

O trabalho será abordado através da proposição de uma espiral de projeto e seu desenvolvimento se fará pela análise geral e aprofundamento em algumas destas etapas da espiral

A fim de mostrar a validade dos critérios apresentados nesta discussão, a análise será elucidada através de cálculos efetuados para a plataforma semi-submersível PETROBRÁS XIII (PBXIII). A PBXIII é uma plataforma de prospeção que está sendo estudada para conversão pela PETROBRÁS.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 20, os trabalhos de pesquisa de existência de gás biogênico (gás de pântano) foram conduzidos por técnicos pioneiros na região conhecida como Baixada Campista. O geólogo Alberto Ribeiro Lamego, no trabalho intitulado "A Bacia de Campos na Geologia Litorânea do Petróleo", editado em 1944, além de sugerir a perfuração de um poço no Cabo de São Tomé, preconizava a presença de acumulação de petróleo na plataforma continental norte fluminense, embora, naquele período, reconhecesse que tais jazidas eram inatingíveis, devido à falta de tecnologia para exploração.

De fato, naquela época não havia condições técnicas para a exploração de petróleo no mar. Essa situação perdurou por muitos anos após o trabalho de Lamego, e em 1958 a Petrobrás iniciou suas pesquisas na parte terrestre, exatamente no Cabo de São Tomé, mas os resultados obtidos não corresponderam às expectativas e a área foi abandonada [1].

No início da década de 60, ainda num cenário de petróleo importado a baixo preço, a Petrobrás decidiu voltar suas pesquisas para a Plataforma Continental Brasileira. A tecnologia de prospecção do mar começava a se desenvolver, movida principalmente pelo declínio dos campos produtores em terra.

Tão logo a prospecção submarina fora viabilizada técnica e economicamente no mundo, na década de 70 quando houve a crise do

petróleo, o país passou a enfrentar os desafios do mar, onde depositavam esperanças de descobertas maiores do que em terra. Foi o que aconteceu primeiro no nordeste e depois no estado do Rio de Janeiro.

Desde 1977 a Petrobrás havia optado pela instalação de sistemas de arrojada concepção. Eram os chamados sistemas de produção antecipada, mais tarde sistemas flutuantes de produção, que além de anteciparem o início da produção, coletavam dados de processamento de interesse para essa atividade.

Da descoberta até a produção comercial de petróleo pelos métodos convencionais, decorrem em média seis anos. Com a utilização dos sistemas flutuantes, conseguiu-se reduzir esse tempo para menos de um ano, permitindo através da antecipação da receita financiar o desenvolvimento definitivo dos campos descobertos [1].

Em 1975, existia apenas um sistema flutuante de produção no mundo instalado no mar do norte. Dois anos depois, a Petrobrás colocaria em produção seu primeiro sistema de produção flutuante no campo de Enchova, em lâmina d'água de 120 metros.

Se em seus primórdios a Petrobrás contratou empresas estrangeiras para assessorá-la por não dispor de infra-estrutura e conhecimentos suficientes, hoje quase 100% de seus recursos materiais e humanos são nacionais e a companhia já se firmou como detentora de uma tecnologia mundialmente reconhecida em águas profundas. Atualmente, as grandes expectativas se voltam para o campo gigante de Marlim, descoberto em 1985 e considerado um dos maiores do mundo. com lâminas d'água entre

600 e 2000 metros. As esperanças são ainda maiores quando se leva em conta que a exploração através de sísmica já identificou uma nova e também gigante área ao sul de Marlim, no momento denominada Albacora. Por conseguinte, pode-se afirmar que a Bacia do Campos ainda tem muito a oferecer, tendo sido também laboratório fundamental para a expansão de atividades exploratórias submarinas e para o desenvolvimento da produção de petróleo em regiões quase abissais. Atualmente, a Bacia do Campos é responsável por mais de 60 % de toda a produção nacional de petróleo.

Com o avanço da exploração do petróleo no mar surgiu a necessidade de construir plataformas cada vez mais adequadas para viabilizar os processos de produção. O objetivo destas plataformas marítimas de produção é acomodar equipamentos de processos para tratamento do petróleo proveniente dos poços submarinos, separando óleo, gás, água, entre outros.

Para regiões próximas à costa, onde a lâmina d'água é relativamente pequena ($\cong 100$ m), as plataformas fixas do tipo jaquetas (estruturas reticuladas apoiadas no leito), são utilizadas para acomodar os equipamentos de processos.

A quantidade de aço necessária para que as plataformas fixas mantenham sua característica de grande rigidez em lâminas d'água mais profundas é de tal ordem que as inviabilizam por seu excessivo custo. Assim, as plantas de processos colocadas em plataformas flutuantes do tipo semi-submersíveis, são mais viáveis em grandes lâminas d'água, onde o grande sucesso destas unidades flutuantes de produção está em: serem relativamente transparentes à ação ambiental hidrodinâmica quando comparadas às outras

unidades convencionais, flexibilidade operacional (possibilidade de reutilização), insensibilidade ao aumento de lâmina d'água, entre outras.

As condições ambientais no Brasil são bem mais favoráveis para operar este tipo de plataformas do que as do Mar do Norte e do Golfo de México. Porém, devido aos altos custos de construção de novas unidades, a maior parte das plataformas projetadas pela PETROBRÁS como sistemas de produção flutuante são plataformas de perfuração convertidas para esta nova finalidade.

Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a metodologia de conversão de plataformas semi-submersíveis, mas, a crescente demanda do óleo, as grandes profundidades onde localizam-se as últimas jazidas descobertas e os altos custos de construção de novas unidades, têm incentivado estes estudos.

Um fator importante no projeto de conversão de semi-submersíveis, é a seleção e avaliação da plataforma a ser convertida, na qual não se deve esquecer que o propósito principal da avaliação de uma plataforma específica não está em procurar qual é a melhor plataforma e sim em eliminar aquelas consideradas inviáveis, que possam levar a custos excessivos no projeto de conversão.

Pelo fato da plataforma de produção ser uma estrutura flutuante, o parâmetro mais importante na avaliação geral da plataforma é a capacidade que a mesma apresenta para incrementar suas cargas no convés sem afetar suas condições iniciais de estabilidade.

A prática tem indicado que aumentos de carga de convés da ordem até 50% são viáveis no projeto de conversão, podendo esse limite ser menor dependendo da área de operação da plataforma. Dentro destes limites, a quantidade da área disponível para distribuir os equipamentos de produção no convés tende a ser o critério mais relevante [2].

A área do convés é definida como a área limitada pelas linhas de centro das colunas externas e pode variar de plataforma para plataforma, de acordo com características como dimensões principais, arranjo dos equipamentos existentes e arranjo das acomodações.

O aumento das cargas no convés, do ponto de vista de deslocamento, é solucionado simplesmente adicionando-se volumes no casco submerso, principalmente nos tubulões (*sponsons*). Já do ponto de vista de estabilidade inicial, soluciona-se através da adição de *blisters* nas colunas.

Uns dos problemas encontrados na adição destes volumes é a possibilidade de desparametrização da plataforma e para a solução deste problema, deve-se criar uma filosofia de parametrização a fim de gerar uma família de plataformas que satisfaça ao mesmo tempo os critérios de estabilidade e comportamento hidrodinâmico para diferentes deslocamentos [3].

Para o desenvolvimento do projeto de conversão e levando em consideração a funcionalidade operacional e segurança da plataforma devem-se estabelecer várias etapas de projeto.

Para garantir a convergência nas diferentes etapas do projeto de conversão seguir-se-á o método conhecido como "Espiral de Projeto para Embarcações" proposto por EVANS no ano de 1959. Embora, muitas modificações tenham sido feitas ao longo dos anos, as características essenciais da espiral permaneceram imutáveis.

Dentre as etapas da espiral, tem-se a estabilidade, comportamento em ondas e análises estrutural, entre outras. Um critério de estabilidade constitui um modelo que serve de base para a avaliação da segurança de uma unidade flutuante contra o emborcamento, incluindo uma série de indicadores numéricos e de requisitos associados para decisão [4].

No caso de se converter uma plataforma para operar com *risers* rígidos e completação seca, a etapa de comportamento em ondas é de grande importância, por ser o movimento vertical (arfagem) um fator limitante, já que induz esforços significativos no topo dos *risers* de produção.

Cabe aqui mencionar que, a utilização de *risers* flexíveis para produção em sistemas flutuantes é bastante comum, devido a capacidade destes *risers* assimilarem os movimentos impostos pela plataforma. No entanto, as operações de manutenção dos sistemas submerso (árvores de natal molhadas, manifolds submarinos e linhas flexíveis, entre outras) correspondem ao 70% dos custos operacionais de um sistema flutuante de produção [2].

Minimizando-se os movimento da plataforma flutuante nas condições ambientais de operação, a utilização de *risers* rígidos e árvores de natal no convés da plataforma é apenas parcialmente viabilizada. Igualmente

ou até mais importante nesse processo de viabilização de *risers* rígidos em sistemas flutuantes de produção, são os ângulos de inclinação da plataforma na condição de avaria mais crítica e o *offset* horizontal máximo atingido pela mesma no caso de uma linha de ancoragem rompida. Porém, no presente trabalho considerar-se-á o movimento de arfagem.

280
Para minimizar a resposta em arfagem, utiliza-se parâmetros tais como *WAVELESS FREQUENCY*, que é uma frequência muito próxima à frequência natural e cuja principal característica é que a força excitante em arfagem é zero.

É interessante manter o período natural de arfagem na faixa do espectro do mar onde a energia é menor ou aproxima-lo a *Waveless frequency*. Neste conceito, o movimento de arfagem seria duplamente minimizado, porque a frequência natural do sistema é baixa e por outro lado, porque a força excitante seria minimizada na faixa de frequência das ondas do mar[5].

Utilizando o método proposto por HOOFT e em concordância com [6] e [7], através de um algoritmo de cálculo desenvolvido no âmbito do presente trabalho, validou-se os cálculos obtidos no laboratório por [8] e [9] na análises do movimento de arfagem em estruturas tipo catamarã.

Além de garantir um mínimo movimento da plataforma, deve-se prover uma estrutura que resista às tensões induzidas na estrutura. A mudança nas tensões da estrutura gera a necessidade de abordar critérios de projetos estruturais.

Um critério de projeto é uma amálgama de experiências, raciocínios e suposições, formada ao longo do tempo e só é verdadeiramente significativo quando estabelece simultaneamente os carregamentos e respectivos modelos de análises, com as correspondentes tensões admissíveis^[10].

Para estudar a estrutura por um processo automatizado de análise, torna-se necessário substituir a estrutura por outra, que reduzindo-lhe a extensão e simplificando-lhe os detalhes, ajuste-se às possibilidades do método de análise selecionado. Também torna-se freqüentemente necessário padronizar os carregamentos a serem considerados tornando-os estáticos e a natureza dinâmica das cargas somente será incluída quando claramente preponderarem, como ocorre no estudo de vibrações.

É evidente que a representação de uma estrutura complexa, como a da plataforma, por um modelo simplificado de cálculo, implica na necessidade de extrair parâmetros da estrutura que, atribuídos ao modelo, permitam uma razoável simulação de seu comportamento.

Acredita-se que a arte de uma boa modelagem resida muito mais na administração das limitações do modelo, do que numa eventual verossimilhança estética.

O presente trabalho tratará da discussão de aspectos referentes à conversão de plataformas semi-submersíveis de perfuração em plataformas de produção com completação seca, com ênfase nas etapas de estabilidade, de comportamento hidrodinâmico e de análise estrutural, indicando processos e critérios que devem ser utilizados para viabilizar o projeto de conversão.

2 FILOSOFIA DO PROJETO DE CONVERSÃO DE SEMI-SUBMERSÍVEL (S.S.)

2.1 GENERALIDADES

Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a conversão de plataformas semi-submersíveis. Entretanto, as descobertas de óleo em grandes profundidades, (alguns com reservas reduzidas como os campos marginais -*marginal fields*-) e os altos custos de construção de novas unidades , têm incentivado estes estudos.

No presente trabalho, será feito o estudo de varios aspectos da conversão de plataformas semi-submersíveis com completação seca, a qual deverá ser capaz de realizar operações de completação sem interrompir a produção dos poços ja completados.

2.2 ESPIRAL DO PROJETO PARA CONVERSÃO DE S.S.

2.2.1 GENERALIDADES

Em 1959, EVANS fez uma contribuição importante para visualizar e modelar os processos de projeto de uma embarcação, constituindo um diagrama conhecido como "Espiral de Projeto para Embarcações". A característica principal do método proposto por EVANS é a seqüência e convergência das diferentes etapas do projeto. Embora, muitas modificações tenham sido feitas ao longo dos anos, as características essenciais da espiral permanecem imutáveis.

Com base na funcionalidade operacional e na segurança da plataforma, estabelecem-se as seguintes etapas na espiral do projeto de conversão:

- a) Requisitos do armador.
- b) Seleção da plataforma.
- c) Arranjo geral.
- d) Dimensões principais.
- e) Estabilidade.
- f) Riser.
- g) Hidrodinâmica.
- h) Estrutura.
- i) Amarração.
- j) Pesos e centros.
- k) Tecnologia de Construção.
- l) Custos.

A figura 2.1a ilustra as diferentes etapas da espiral do projeto de conversão.

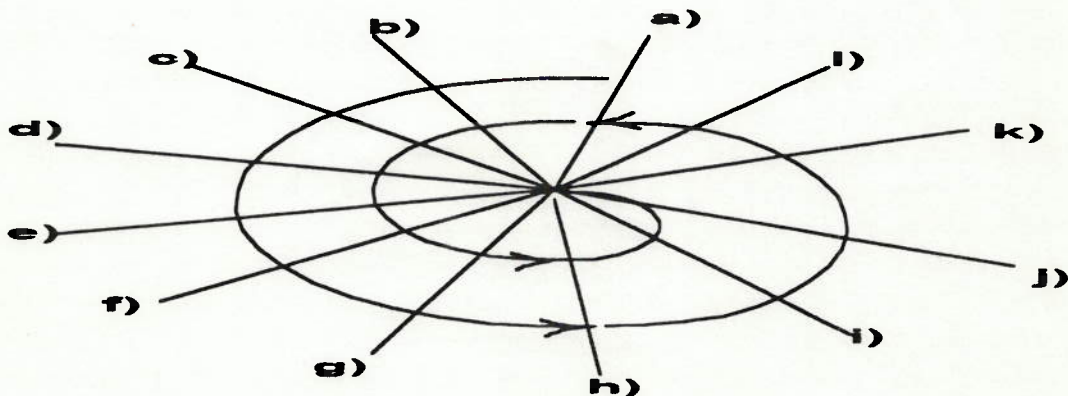


Figura 2.1a Espiral do projeto de conversão.

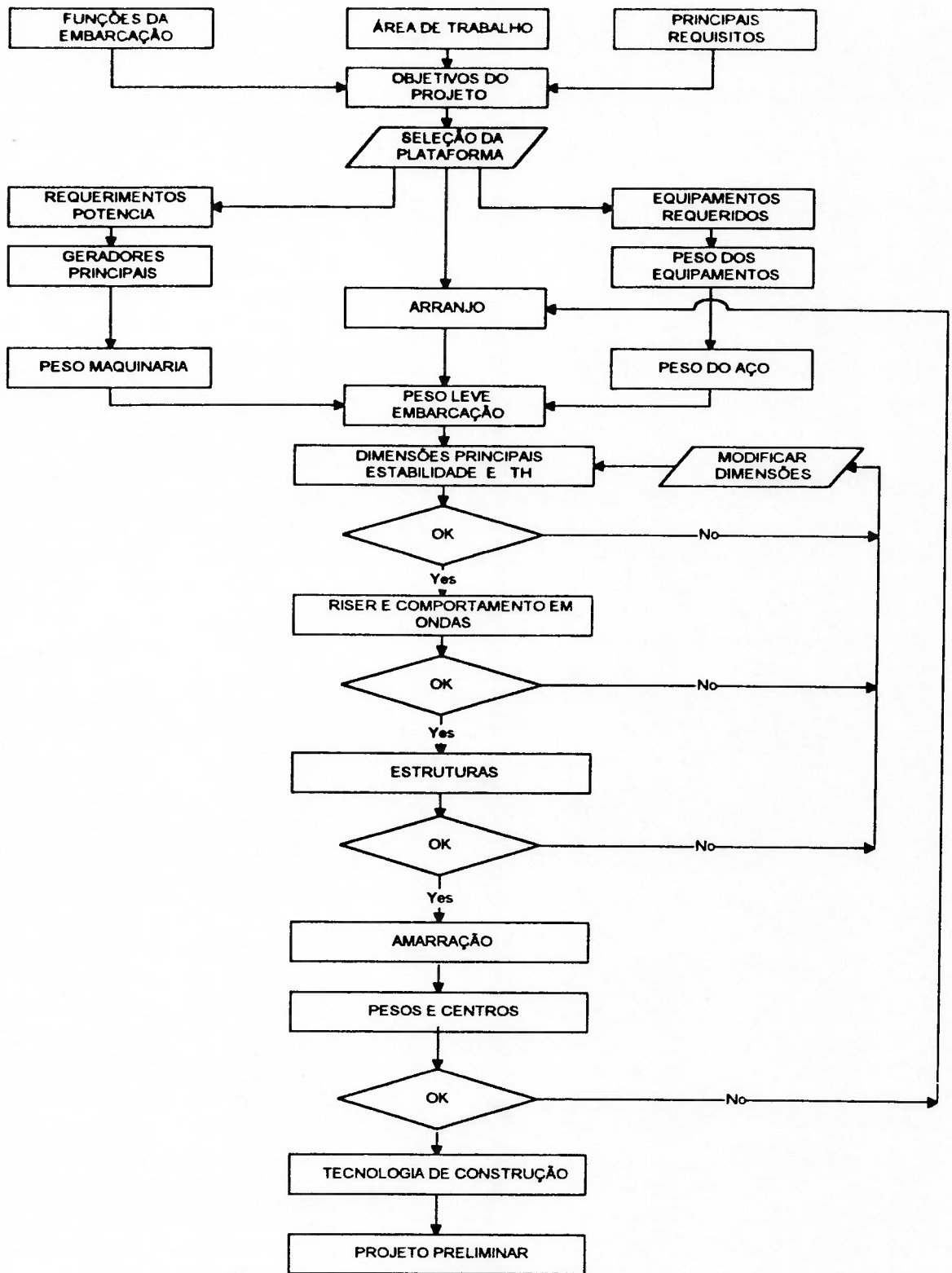


Figura 2.1b Projeto de conversão semi-submersível

Uma análise da metodologia de projeto apresentada no diagrama da figura 2.1b mostra:

a) O ponto inicial na espiral do projeto é os requisitos do armador, nos quais o armador estipula as condições operacionais da plataforma a ser convertida (funções da embarcação, área de trabalho, número de poços, capacidade de produção, lâmina d'água, entre outros) (tabela 2.1).

b) Conforme os requisitos do armador seleciona-se a plataforma a ser convertida levando em consideração os critérios de seleção, os quais serão tratados na seção 2.3.1.

c) O arranjo geral, além de limitar a distribuição dos novos equipamentos a serem utilizados na produção. Os pesos dos equipamentos de produção (que é função do número de poços e da produção do reservatório), permitem fixar o deslocamento de projeto da plataforma (seção 2.3.2).

d) Devido à interdependência entre a estabilidade inicial e o período natural de arfagem, as etapas de estabilidade e dimensões principais devem ser tratadas conjuntamente, isto é, criar uma filosofia de parametrização para otimizar a estabilidade inicial com o comportamento em ondas (seção 2.3.3 e 2.3.4).

e) A etapa onde analisa-se o comportamento hidrodinâmico (seção 2.3.5) e a etapa da escolha do *riser* são interativas, sendo que a seqüência de interação dependerá do tipo de plataforma. Para plataformas do tipo TLP (*Tension leg platform*) executa-se primeiro a etapa hidrodinâmica, devido aos movimentos verticais reduzidos, induzindo tensões axiais baixas no topo dos *risers* de produção. Para plataformas semi-submersíveis com *risers* rígidos ou flexíveis, a etapa hidrodinâmica deve ser tratada após a

escolha do *riser*, pelo fato de serem as características mecânicas dos *risers* fatores limitantes nos movimentos da plataforma.

f) Compatibilizando-se o comportamento hidrodinâmico e a estabilidade, deve-se prover a plataforma de uma estrutura que resista aos esforços atuantes (seção 2.3.6).

g) O sistema de amarração não é limitante no projeto de conversão do ponto de vista de estabilidade e comportamento hidrodinâmico (primeira ordem), pelo fato de serem pequenas as interferências das linhas de amarração nesses casos, embora alguns estudos demonstrem a influência do sistema de amarração na estabilidade da plataforma quando se aumenta a lâmina d'água^[11].

h) Na etapa de pesos e centros avalia-se a estabilidade inicial (GM) da plataforma, procura-se detalhar o arranjo final dos equipamentos no convés.

O presente trabalho desenvolve a espiral de projeto de conversão em dois ciclos (Tabela 2.2 e 2.3) para uma plataforma semisubmersível utilizando *risers* rígidos e completação seca. No entanto, o número de ciclos é determinado pela convergência ou não do projeto.

Tabela 2.1 Requisitos do armador

REQUISITOS DO ARMADOR
Dados ambientais da área de operação:
Lâmina d'água
Direção, duração e velocidade dos ventos da região,
Temperatura máxima e mínima da água
Umidade relativa e temperatura do ar
Ondas: Hs, Hmax e Tz para os períodos de retorno de 1, 10 e 100 anos
Correntes: Perfis de velocidade e direções das correntes mais significativas da região para os períodos de retorno de 1, 10 e 100 anos
Marés: amplitudes máximas e mínimas
Perfil do fundo e características geofísicas do solo
Normas e certificados exigidos
Notação de classe e Sociedade Classificadora desejada
Sistema de completação e produção desejados
Sistema de exportação de óleo e gás
Limites operacionais da plataforma
Capacidade e filosofia de produção, assim como tipo do equipamento
Capacidades (consumíveis , carga variável, lastro)
Plataforma a ser convertida (dados e desenhos)
Vida residual da plataforma e do sistema de produção
Outras limitações (lay-out submarino, exigências especiais do armador, limitações, orçamentárias entre outros)

Tabela 2.2 Primeiro ciclo do projeto conversão.

ETAPAS	PRIMEIRO CICLO ESPIRAL DE PROJETO
Requisitos do Armador	(Tabela 2.1)
Seleção da Embarcação	(Seção 2.3.1)
Arranjo geral	<ul style="list-style-type: none"> -Área mínima de convés (área a ser ocupada pelo processo). -Aproveitamento ou não dos equipamentos de perfuração. -Segregação das áreas (acomodação / utilidades / processo). -Sistemas de emergência / rotas de fuga. -Geração de energia principal e de emergência. -Chegada das linhas rígidas e flexíveis (classificação de áreas e esquema de instalação dos risers)
Dimensões e Estabilidade	<ul style="list-style-type: none"> -Deslocamento da plataforma. -Área de flutuação e momentos de inércia longitudinal e transversal. -Cálculo do KB, BM. -Estimativa do KG, determinação do GM. -Verificação do KG max em relação ao KG estimado. -Definição dos calados de operação, trânsito e sobrevivência, checando seus KG 's máximos. -Verificação dos ângulos de inclinação da plataforma em função do sistema de tensionamento.
Riser	<ul style="list-style-type: none"> -Dimensões e arranjo dos risers. -Tipos de risers a serem utilizados (poços subjacentes e satélites). -Características mecânicas dos risers. -Escolha do sistema de compensação e estimativa de sua rigidez. -Estimativa das janelas operacionais do sistema de compensação. -Verificação das áreas livres, verticais e horizontais para acomodação dos risers. -Adaptação da torre de perfuração para completção.
Hidrodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> -Período natural de arfagem livre e com os risers. -Análise dos RAO's (response amplitude operator) STR's (short terms response) originais da plataforma e ponderação preliminar sobre o efeito nos movimentos das modificações a serem introduzidas. -Avaliação dos limites operacionais a serem impostos ao sistema de compensação.
Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> -Avaliação da estrutura original em função das modificações a serem introduzidas e das plantas a serem adicionadas -Avaliação da estrutura do moonpool em função das cargas dos risers e da distribuição de tensionadores. -Dimensionamento preliminar dos reforços principais por regras. -Análise estática dos elementos principais do convés.
Sistema de Amarração	<ul style="list-style-type: none"> -Pesquisa sob projetos anteriores e semelhantes -Escolha do sistema de amarração, número de linhas e arranjo. -Características das linhas. -Limitação dos offset operacionais, intactos e avariados (incluindo limitações do sistema de tensionamento). -Estimativa da pretensão.
Pesos e Centros	<ul style="list-style-type: none"> -Peso do aço original -Peso do aço retirado por remoção de equipamentos -Peso do aço dos reforços estruturais -Peso dos equipamentos a serem adicionados -Cargas variáveis do convés -Lastro e consumíveis -Carga vertical do sistema de amarração -Deslocamento e KG da plataforma

Tabela 2.3 Segundo ciclo do projeto de conversão

	SEGUNDO CICLO ESPIRAL DO PROJETO
Estabilidade	-Cálculo das forças dos ventos para diversos ângulos de incidências. -Análise da estabilidade intacta para diversos ângulos e determinação do eixo crítico. -Análise da estabilidade avariada e determinação das curvas de KG máximo admissível.
Riser	-Análise estática e dinâmica dos risers (domínio da frequência). -Análise de interferência dos risers com o arranjo final. -Análise final do sistema de compensação dos movimentos
Hidrodinâmica	-Análise do movimento das diferentes plataformas modificadas, testando as diversas possibilidades de itens para minimização dos movimentos (exemplo aletas). -Verificação dos movimentos face aos requisitos do projeto
Estrutura	-Análise estática e global da plataforma. -Análise dinâmica do convés.
Amarração	Análise quase-estática das linhas
Pesos e centros	-Ajuste global de pesos e centros. -Verificação do KG final em função do KG admissível -Fechamento final do deslocamento e KG.

2.3 PROCEDIMENTO E CRITÉRIOS APLICADOS NA ESPIRAL DO PROJETO DE CONVERSÃO

No presente trabalho visa-se a necessidade de estabelecer critérios e procedimentos para garantir a convergência nas diferentes etapas do projeto de conversão, apresentando os critérios e procedimento das etapas de estabilidade, comportamento em ondas e estrutura, entre outras.

Os critérios relacionados as etapas de riser, hidrodinâmica, pesos e centros, custos e tecnologia de construção não serão elucidados na presente metodologia. Portanto da espiral de projeto inicialmente dividida em 12 itens (figura 2.1a), apenas 6 serão abordados conforme esquema a seguir:

2.3.1 Seleção de plataforma.

2.3.2 Arranjo geral.

2.3.3 Dimensões principais.

2.3.4 Estabilidade intacta.

2.3.5 Hidrodinâmica.

2.3.6 Estrutura.

2.3.1 SELEÇÃO DA PLATAFORMA

A maioria das plataformas semi-submersíveis que existem no mercado são plataformas destinadas à perfuração; os altos custos de investimento em construção de novas unidades torna viável a conversão destas plataformas à produção. Nesse contexto, a correta seleção da unidade a ser convertida é de extrema importância para o sucesso do projeto.

A seleção das possíveis plataformas é dividida em dois níveis:

- a) Seleção das plataformas candidatas.
- b) Avaliação da plataforma selecionada.

Além dos aspectos técnicos, o custo total da conversão deverá ser considerado. O custo de aquisição de uma S.S. depende das condições do mercado e de seu estado físico. Atualmente uma S.S. de segunda geração está na ordem de 30 a 40 milhões de dólares, enquanto uma de terceira ou de quarta geração pode estar na ordem de 50 a 70 milhões de dólares [2].

A primeira geração de plataformas semi-submersíveis foi desenvolvida antes de 1970 e inclui algumas unidades construídas após este

período. Elas têm deficiências na geometria do casco (formas hidrodinâmicas grossas) o que as faz, por seu excessivo peso, menos eficientes do que as de gerações posteriores.

A segunda geração é facilmente identificada pela configuração de dois tubulões. Estas apresentam melhor geometria nas formas hidrodinâmicas de seu casco para operar como plataformas de perfuração.

A terceira e quarta gerações de plataformas semi-submersíveis foram construídas nos anos 80. Na sua maioria incorporam mudanças significativas nos equipamentos de perfuração, que têm menor peso e estruturas simplificadas. É muito fácil distingui-las da segunda geração, no entanto, é difícil a distinção entre as de terceira e as de quarta geração. Exemplos da terceira geração são as famílias de plataformas Bingo 3000 e Aker H-4.0. A diferença entre as plataformas de terceira e quarta geração está, basicamente, no grau de automação das mesmas.

2.3.1.1 SELEÇÃO DAS PLATAFORMAS CANDIDATAS

A seleção das plataformas candidatas é dividida em três etapas:

a) Na primeira etapa, deve-se considerar todas as S.S. disponíveis no mercado e eliminar plataformas baseando-se no critério de vida útil (estado físico da plataforma), com ênfase no estado estrutural e estado dos equipamentos existentes. Plataformas antigas podem ter problemas de longevidade. Por outro lado, o investimento em plataformas novas é

demasiadamente alto. A escolha entre estas duas opções é feita de acordo com a duração e quantidade de hidrocarboneto do reservatório.

b) Na segunda etapa, agrupam-se as plataformas em famílias e eliminam-se algumas famílias baseando-se em critérios técnicos, tais como: arranjo estrutural, dimensões principais, capacidade de carga no convés, entre outros. As plataformas restantes podem ser definidas como famílias apropriadas.

c) Na terceira etapa, a exclusão das plataformas candidatas não se baseia em critérios técnicos. Desde que estes estejam satisfeitos, o armador irá se utilizar de fatores econômicos que incluam uma análise do custo total de conversão e fatores de mercado, os quais podem ser limitantes no projeto de conversão.

O resultado destas três etapas é uma lista das plataformas que são chamadas de plataformas selecionadas.

2.3.1.2 AVALIAÇÃO DAS PLATAFORMAS SELECIONADAS

O propósito da avaliação de uma plataforma específica não está em procurar qual é a melhor plataforma e sim em eliminar aquelas consideradas inviáveis, que possam levar a custos excessivos de modificação e manutenção.

O processo de avaliação é dividido em três etapas:

- a) Avaliação geral.
- b) Avaliação da vida residual da plataforma.
- c) Escolha da plataforma.

2.3.1.2.1

AVALIAÇÃO GERAL DA PLATAFORMA A SER CONVERTIDA

Os fatores mais utilizados na avaliação das plataformas selecionadas são: capacidade de cargas no convés, área de convés, deslocamento total, deslocamento dos tubulões, estrutura, potência instalada, ancoragem e calado de operação [2].

Pelo fato da plataforma de produção ser uma estrutura flutuante, o parâmetro mais importante na avaliação geral da plataforma a ser convertida é a capacidade que a mesma apresenta para aumentar suas cargas no convés sem afetar suas condições iniciais de estabilidade. A anterior capacidade é calculada através de uma análise de estabilidade inicial com pesos e centros (seção 3.2.1).

Do ponto de vista estrutural, o resultado prático indica que o aumento menor do que 50% nas cargas de convés, raramente é um fator limitante no projeto de conversão [2]. Nesta condição, a quantidade da área disponível para distribuir os equipamentos de produção no convés tende a ser o critério mais relevante. A área do convés é definida como a área limitada pelas linhas de centro das colunas externas e pode variar de plataforma para plataforma, de acordo com as dimensões principais e arranjo dos equipamentos existentes.

Para avaliar a área do convés deve-se inicialmente, determinar a quantidade de área necessária para distribuir os equipamentos de produção. As experiências indicam que:

plataforma

a) A área mínima utilizada nos arranjos de sistemas de produção depende do tipo de convés da plataforma. Para plataformas com um só convés, estima-se o valor desta área em 30% da área total. Para plataforma com convés duplo, estima-se o valor da área em 35% da área total do convés. A diferença da porcentagem entre o convés simples e o duplo existe devido a restrições governamentais para distribuir equipamentos de produção em lugares fechados com pouca ventilação [2].

Essas estimativas referem-se a conversões confortáveis e "bem comportadas", ou seja, algo próximo do ideal. Na realidade utilizam-se porcentagem sensivelmente superiores aos indicados.

b) Os arranjos dos equipamentos de produção em sistemas flutuantes mostram que 70 % da área mínima requerida é utilizada pelos equipamentos e a área restante é utilizada para o acesso [2].

Usando as porcentagens acima citadas como requisitos na determinação da área para projetos de conversão e considerando as dimensões dos convés das plataformas de perfuração existentes ($\cong 45 \times 70$ m.), a área de produção requerida é de 920 a 1400 m².

O calado de operação é outro parâmetro importante na avaliação da plataforma a ser convertida. Para fixar o valor mínimo do calado de operação da plataforma após da conversão, deve-se analisar a influência do calado de operação no comportamento em ondas.

Colar na figura.

Sendo a profundidade em relação a linha d'água o termo Z das equações das forças atuantes sobre a plataforma (equações 2.11), elucidase a variação da parcela \exp^{kz} na figura 2.2.

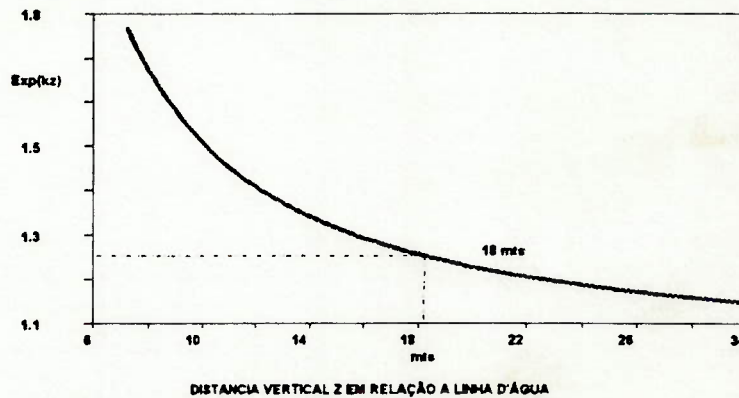


Figura 2.2 Determinação do calado de projeto.

Em concordância com a figura 2.2, para garantir a pouca influência do calado de operação no comportamento em ondas, o centro de massa do tubulão deve estar pelo menos a 18.0 m em relação a linha d'água, no entanto, para garantir que ondas do mar não atinjam o convés inferior da plataforma, o *air gap* não deverá ser menor que 0.45 vezes da altura da onda + 5 m [2]. O *air gap* é também função da estabilidade, uma vez, que quanto menor ele for, menor será o ângulo de alagamento progressivo.

Ambos dos casos deverão ser analisados e o maior valor entre os dois será adotado como *air gap* mínimo (figura 2.3).

Os outros parâmetros e seus requisitos de avaliação são:

Deslocamento da plataforma, deslocamento dos tubulões, potência instalada, entre outros.

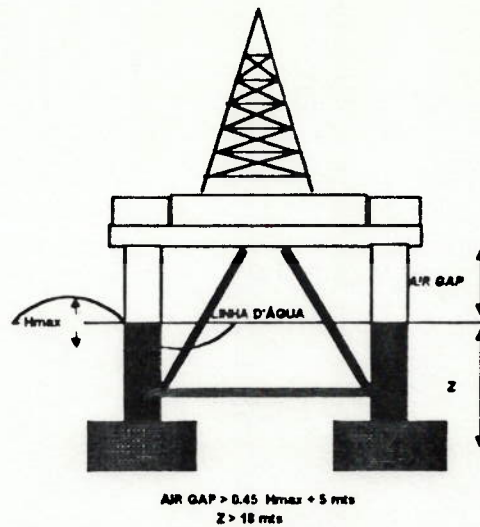


Figura 2.3 Calado de operação e *air gap*

2.3.1.2.2

VIDA RESIDUAL DAS PLATAFORMAS SEMI-SUBMERSÍVEIS

O objetivo de avaliar a vida residual de uma plataforma semi-submersível está em identificar os níveis de deterioração que poderiam aumentar o custo total da conversão.

Mesmo que o uso de uma plataforma existente reduza o custo total do projeto de conversão e acelere a exploração do reservatório, deve-se tomar medidas para assegurar sua vida residual. Estas medidas incluem, além de um programa de inspeção e reparo a ser elaborado durante o projeto de conversão, um programa de manutenção para ser executado durante o tempo de produção do reservatório. Estes programas dependem do volume do reservatório, do óleo a ser produzido, da idade da plataforma e da quantidade de modificações requeridas.

Uma diferença importante entre as plataformas semi-submersíveis de perfuração e as plataformas semi-submersíveis de produção é

o método de inspeção e manutenção da estrutura, pelas diferenças operacionais entre os dois sistemas. As plataformas semi-submersíveis de perfuração são embarcações móveis e devem ser inspecionadas de uma maneira geral a cada dois anos, outra inspeção deverá ser feita a cada 5 anos, no período de docagem da plataforma^[12].

Embora, as características operacionais sejam diferentes entre as plataformas de perfuração e produção, para períodos de exploração do reservatório de 5 anos ou menos, deve-se utilizar os procedimentos de inspeção acima citados de acordo com as regulamentações existentes.

Quando o tempo de produção do reservatório é determinante na escolha da plataforma (mais de 5 anos), deve-se avaliar a corrosão e a fadiga estrutural da plataforma.

As partes da estrutura com mais probabilidade de ocorrência de falhas, são aquelas que estão submetidas a esforços elevados que experimentam inversões no sentido da aplicação.

A concentração de esforços tem um efeito reduzido sobre a resistência estática de uma estrutura se o material do que é feita for relativamente dúctil. Por outro lado, quando uma concentração de esforços é combinada com esforços repetitivos, a resistência da estrutura no ponto da concentração é materialmente reduzida. Assim sendo, pela impossibilidade de evitar concentração de esforços nas juntas soldadas, as soldas são pontos fracos quando são submetidas a esforços repetitivos. Se as soldas são resfriadas rapidamente, desenvolve-se uma estrutura martensítica a qual vira

mais frágil do que o metal base e conseqüentemente o efeito da fadiga torna-se mais severo.

As falhas por fadiga originam-se numa região localizada na qual existe uma concentração de esforços. Esta concentração de esforços causa uma trinca diminuta que se estende à regiões vizinhas baixos efeitos de cargas repetitivas, até que a resistência da estrutura diminui a tal grau que falha repentinamente como se estivesse submetida a carregamento estático.

Os fatores associados com as falhas por fadiga podem ser resumidos:

- a) Um número grande de ciclos de cargas.
- b) Uma ampla faixa de variações de esforços.
- c) Um esforço elevado num membro de pequenos esforços durante cargas cíclicas.
- d) Concentração de esforços pelos processos de fabricação e construção.

Para o projeto estrutural, levar em consideração estes fatores é uma tarefa difícil. O tipo e magnitude das cargas cíclicas que deverão suportar a estrutura na vida residual, são na maioria dos casos incertas e quando combinam-se com os esforços atuantes na estrutura requerem do projetista juízo e experiência considerável. Devido a simplicidade estrutural da plataforma, os locais mais afetados pela fadiga são as conexões dos contraventamentos com as colunas (figura 2.4), para uma melhor análise destes membros estruturais, recomenda-se avaliar o fator de concentração de tensões a fim de determinar sua vida residual.

Por ser o sistema flutuante de produção estacionário na região de operação, a minimização da corrosão é um fator que deve ser levado em consideração no projeto de conversão de semi-submersíveis. Nestas condições de operação o problema relaciona-se à estanqueidade da plataforma, considerando além disto os problemas estruturais que ela traz devido à redução das espessuras do chapeamento (flambagem ou colapso nas unidades de chapeamento).

Nas plataformas semi-submersíveis encontram-se várias áreas onde a corrosão pode ter maior influência: casco , tanques e estruturas expostas ao ar (figura 2.4).

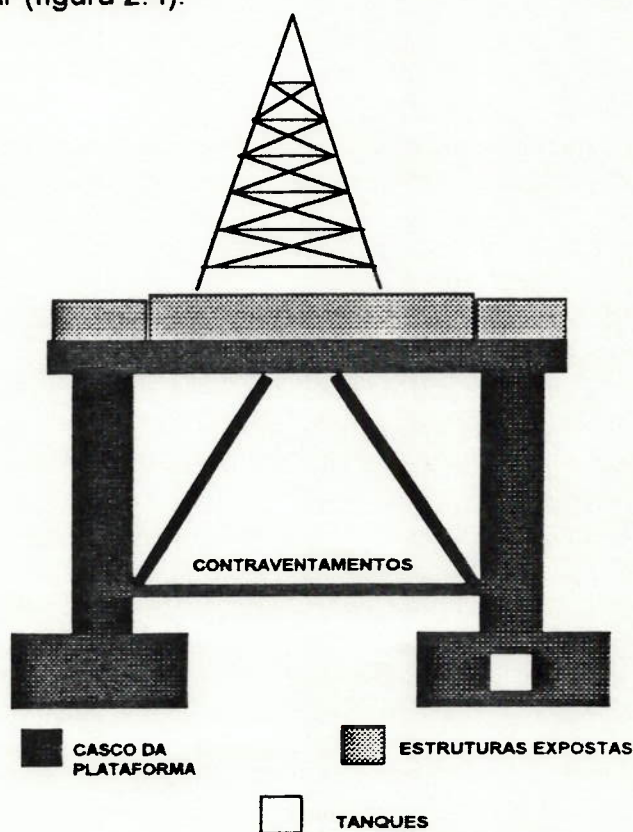


Figura 2.4 Pontos afetados pela corrosão

A corrosão nos tanques de lastro pode ser controlada com a eliminação do oxigênio no interior deles. Algumas corrosões químicas podem

ser neutralizadas adicionando-se aditivos. Ânodos de sacrifícios devem ser expostos em lugares acessíveis do tanque para monitorar seu estado e as estruturas expostas ao ar requerem tintas protetoras a base de zinco.

2.3.1.2.3 ESCOLHA FINAL DA PLATAFORMA:

Assim, o procedimento de escolha da plataforma a ser convertida tem a seguinte seqüência:

a) Avaliação geral, na qual eliminam-se as plataformas de perfuração que forem consideradas inviáveis pelo requisitos básicos do projeto tais como:

Requisitos do armador.

Cargas de convés.

Área disponível.

Calado de operação.

Deslocamento total.

Deslocamento dos tubulões.

Estrutura.

Potência instalada.

Sistema de ancoragem.

b) Vida residual, em que se identificam os níveis de deterioração relacionados à fadiga estrutural e corrosão, os quais aumentam os custos de conversão. O resultado desta avaliação será uma plataforma escolhida para a conversão.

2.3.2 ARRANJO GERAL

Nos critérios de conversão, deve-se considerar as diferentes modificações que terá a plataforma selecionada em relação ao sistema de perfuração. As modificações podem ser divididas em:

a) Sistemas Adicionados.

Planta de produção e painéis de controle.

Sistemas de ventilação.

Sistemas de completação seca.

Injeção química e tubulações.

Suporte para *risers* de produção e exportação.

Sistema de ar.

Sistema de compensação de movimentos.

Blisters nas colunas (fig 2.6).

Sponsons nos tubulões (fig 2.6).

b) Sistemas a serem removidos.

Torre de perfuração.

Sistema auxiliar para perfuração.

c) Sistemas mantidos com possibilidade de realocação.

Sistema de amarração.

Heliporto.

Acomodações do pessoal.

Sistema de geração elétrica.

Compressores de ar.

Guindastes.

Sistemas de emergência e equipamentos de segurança.

Botes salva-vidas.

A parte mais importante nestes procedimentos é a filosofia para distribuir as diferentes áreas. Embora as sociedades classificadoras sejam diferentes, esta filosofia permanece imutável.

Segundo as regras da ABS, recomenda-se arranjar os equipamentos de produção em áreas de acordo com as categorias existentes (figura 2.5)[13].

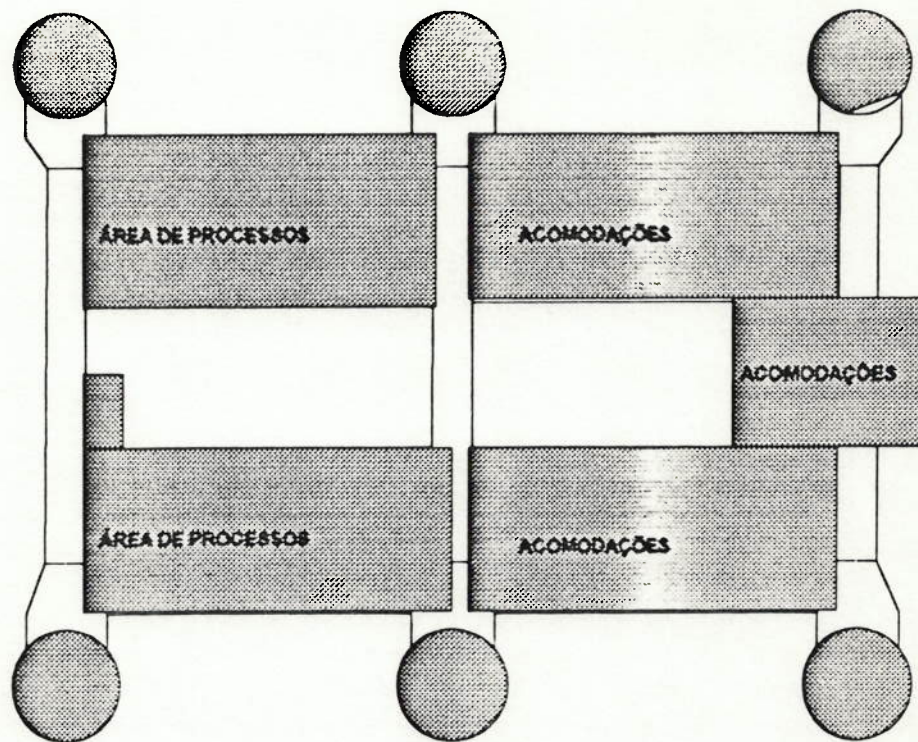
a) Acomodações.

b) Área de cabeça de poços.

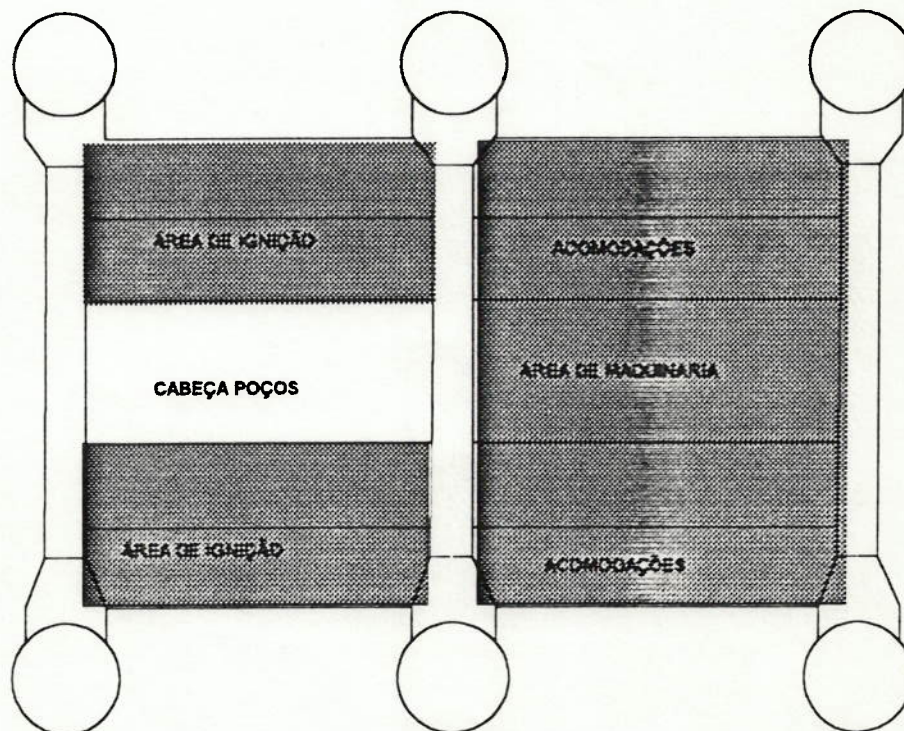
c) Área de processos de produção.

d) Área de ignição.

e) Área de maquinaria.



a) CONVÉS SUPERIOR



b) CONVÉS INFERIOR

Figura 2.5 Distribuição das áreas no convés

As áreas, não precisam ser necessariamente contínuas, mas é importante agrupar os equipamentos semelhantes para simplificar a distribuição e as linhas de fluxo.

•ACOMODAÇÕES

As acomodações além de situar-se avante e sempre que possível acima do convés, deve-se evitar dispô-las perto dos equipamentos de produção, onde encontram-se gases tóxicos, fumaças e ruídos.

Pelo fato das acomodações conterem pessoas e materiais combustíveis, estas deverão estar isoladas das áreas de produção. Os sistemas tais como: a geração elétrica, o ar condicionado e plantas de tratamento, podem estar situados perto desta área.

•ÁREA DE CABEÇA DE POÇOS

As cabeças de poços deverão estar localizadas em áreas de fácil acesso e farta ventilação. Esta área deve estar separada de fontes de ignição, combustível ou objetos estranhos. As altas pressões encontradas nesta área são difíceis de serem controladas e exigem, além da proteção do pessoal, uma prioridade na proteção dessa área.

•ÁREA DE PROCESSOS

Esta área é destinada aos equipamentos de produção, os quais, devido a quantidade de hidrocarbonetos, deverão estar localizados em áreas abertas, protegidos de qualquer fonte de ignição.

•ÁREA DE IGNIÇÃO

Os equipamentos localizados nesta área são considerados como fontes potenciais de ignição (motores e equipamentos elétricos). Deve-se evitar arranjar esta área perto de fontes de combustível, gases e áreas de armazém, embora, seja permitido esta área ficar perto da área destinada às maquinarias.

•ÁREA DE MAQUINARIA

As maquinarias são consideradas como fontes potenciais de ignição e combustível, por isso deverá ser afastada ou isolada das áreas de trabalho, armazém de petróleo e acomodações.

O espaço é um fator importante para garantir operações seguras; uma alta concentração de equipamentos, além de aumentar os problemas de manutenção e operação, aumenta também a chance de ocorrência de falhas.

É responsabilidade do projetista entender estes fatores e aplicá-los corretamente segundo seu grau de influência na plataforma.

2.3.3 DIMENSÕES PRINCIPAIS

O aumento das cargas no convés, do ponto de vista de deslocamento, é solucionado simplesmente adicionando-se *sponsons* nos tubulões (figura 2.6a) e para manter as condições de estabilidade, *blisters* nas colunas.

A fim de melhorar o comportamento hidrodinâmico da nova plataforma, além de projetar os *blisters* e os *sponsons*, deve-se manter o mesmo valor do calado de operação e período natural de arfagem da plataforma inicial, ou altera-los conforme a conveniência operacional. para garantir pelo menos o mesmo comportamento em ondas nas etapas preliminares do projeto de conversão.

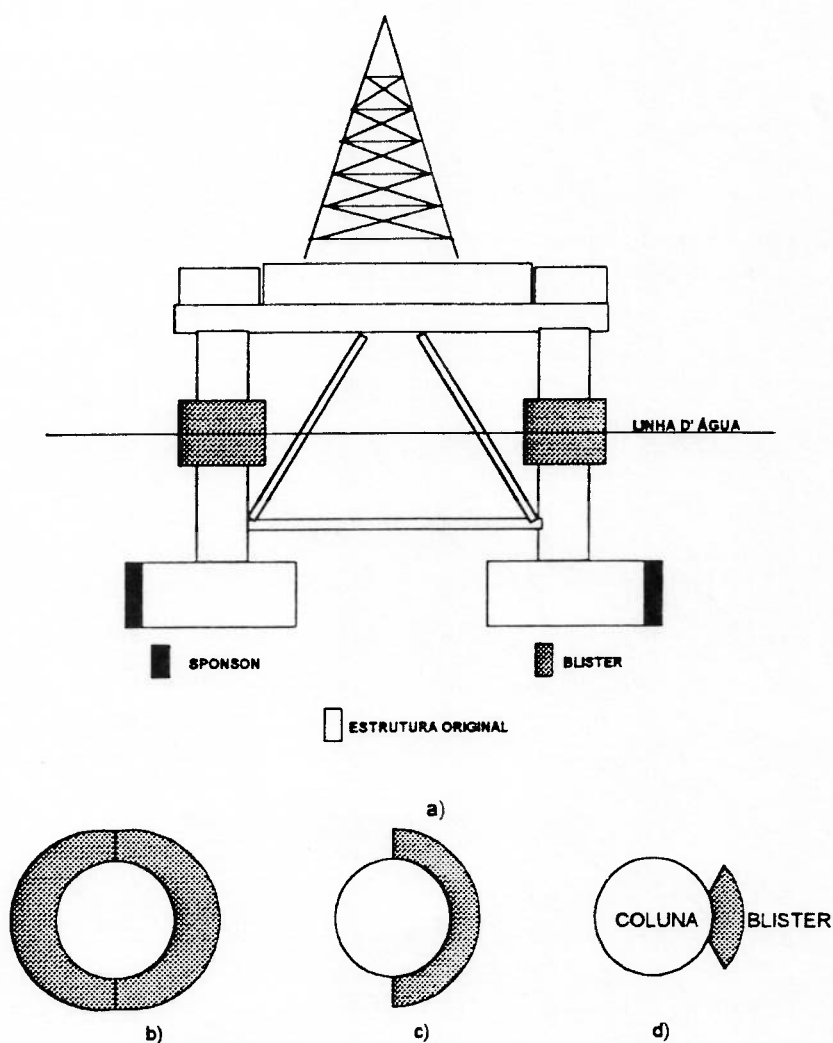


Figura 2.6 Distribuição dos *blisters* e *sponsons*

Nas figuras 2.6b, 2.6c e 2.6d são mostrados os diferentes ângulos para distribuir os blister. A escolha da configuração desejada depende

da quantidade de área de flutuação requerida para garantir a estabilidade inicial (GM).

Define-se o fator "f", a relação da área seccional do *blister* com a área da coluna; para relações superiores a 0.70, encontram-se além dos problemas de fabricação e construção, a flambagem na estrutura da coluna[2].

Para compatibilizar a estabilidade com o comportamento hidrodinâmico (seção 2.3.5), deve-se criar uma filosofia de parametrização. A utilidade prática desta filosofia de parametrização está em gerar uma família de plataformas que satisfaça os critérios de estabilidade e comportamento hidrodinâmico para diferentes deslocamentos, respeitando as condições mínimas de estabilidade necessárias para garantir o aumento das cargas no convés.

As variáveis que podem ser parametrizadas e influem no comportamento hidrodinâmico e na estabilidade, são:

Deslocamento da plataforma.

Diâmetro das colunas.

Calado de operação.

Altura do tubulão (relação boca / altura do tubulão).

Diâmetro dos *blisters*.

Comprimento total dos *blisters*.

Comprimento dos *sponsons*.

Boca dos *sponsons*.

Coefficiente de massa adicional em arfagem.

Período natural de arfagem.

Seja o deslocamento da plataforma função de:

$$\begin{aligned}\Delta_{tot} &= \Delta_{col} + \Delta_{tub} \\ \Delta_{tub} &= \Delta_{tot} - \Delta_{col}\end{aligned}\tag{2.1}$$

$$bt * ht * lt * \rho = \Delta_{tot} - \Delta_{col}\tag{2.2}$$

$$bt = \frac{\Delta_{tot} - \Delta_{col}}{ht * lt * \rho}\tag{2.2a}$$

Onde:

- Δ_{tot} = Deslocamento total da plataforma.
- Δ_{col} = Deslocamento das colunas.
- Δ_{tub} = Deslocamento dos tubulões.
- bt = Boca do tubulão na equação de deslocamento.
- lt = Comprimento total do tubulão.
- ht = Altura do tubulão.
- ρ = Densidade do fluido.

Para avaliar o comportamento hidrodinâmico, como será tratado na seção 2.3.5, estipula-se um parâmetro de controle, o qual é o período natural de arfagem da plataforma.

Seja o período natural de arfagem de uma plataforma função de:

$$\times \quad TH = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_{tot} + \Delta_{adc}}{\rho * g * A_w}} \quad (2.3).$$

$$\times \quad \Delta_{adc} = \left[\left(\frac{TH}{2\pi} \right)^2 \rho g A_w \right] - \Delta_{tot} \quad (2.3.a)$$

onde:

Δ_{tot} = Deslocamento total da plataforma.

Δ_{adc} = Massa adicional em arfagem.

A_w = Área de flutuação.

g = Gravidade.

A massa adicional em arfagem é função dos volumes dos tubulões multiplicado por um coeficiente de massa adicional. Este coeficiente é função da relação boca / altura do tubulão. Assim sendo, a equação (2.3.a) pode ser expressa em função da boca do tubulão como:

$$\times \quad b_2 = \frac{\left[\left(\frac{TH}{2\pi} \right)^2 \rho g A_w \right] - \Delta_{tot}}{\rho * ht * lt * C_{33}} \quad (2.4)$$

C_{33} = Coeficiente de massa adicional em arfagem.

Δ_{adc} = Massa adicional em arfagem.

TH = Período natural de arfagem.

b_2 = Boca do tubulão na equação de movimento.

Segundo [3], O valor do coeficiente da massa adicional, ilustrado na figura 2.7, pode ser obtido por uma regressão linear das curvas propostas pela DNV, sem considerar o efeito tridimensional das formas dos tubulões.

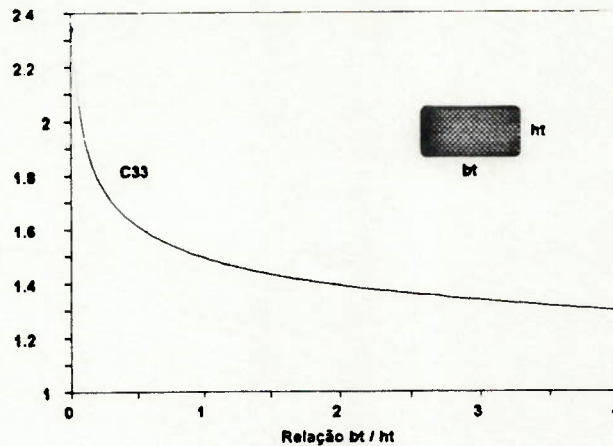


Figura 2.7 Coeficiente de massa adicional em arfagem

Onde:

$$C_{33} = 0.92 * 1.532 * \left(\frac{bt}{ht}\right)^{(-0.157934)} * \left(\frac{bt}{Dequi}\right)^2 \quad (2.5)$$

$$Sendo Dequi = \sqrt{4 * \frac{(bt * ht - 0.86)}{\pi}}$$

Desta forma, tem-se duas equações da boca do tubulão em função das duas condições básicas do projeto, bt pela condição de deslocamento e b_2 pela condição de movimento.

Cada uma das equações anteriores gera uma família de plataformas com diferentes dimensões, deslocamentos e igual período natural de arfagem. Trata-se da obtenção de plataformas que tenham os mesmos valores de bt e b_2 . Neste ponto, a condição de deslocamento e comportamento hidrodinâmico estarão satisfeitas.

A metodologia de parametrização acima tratada é elucidada na figura 2.8.

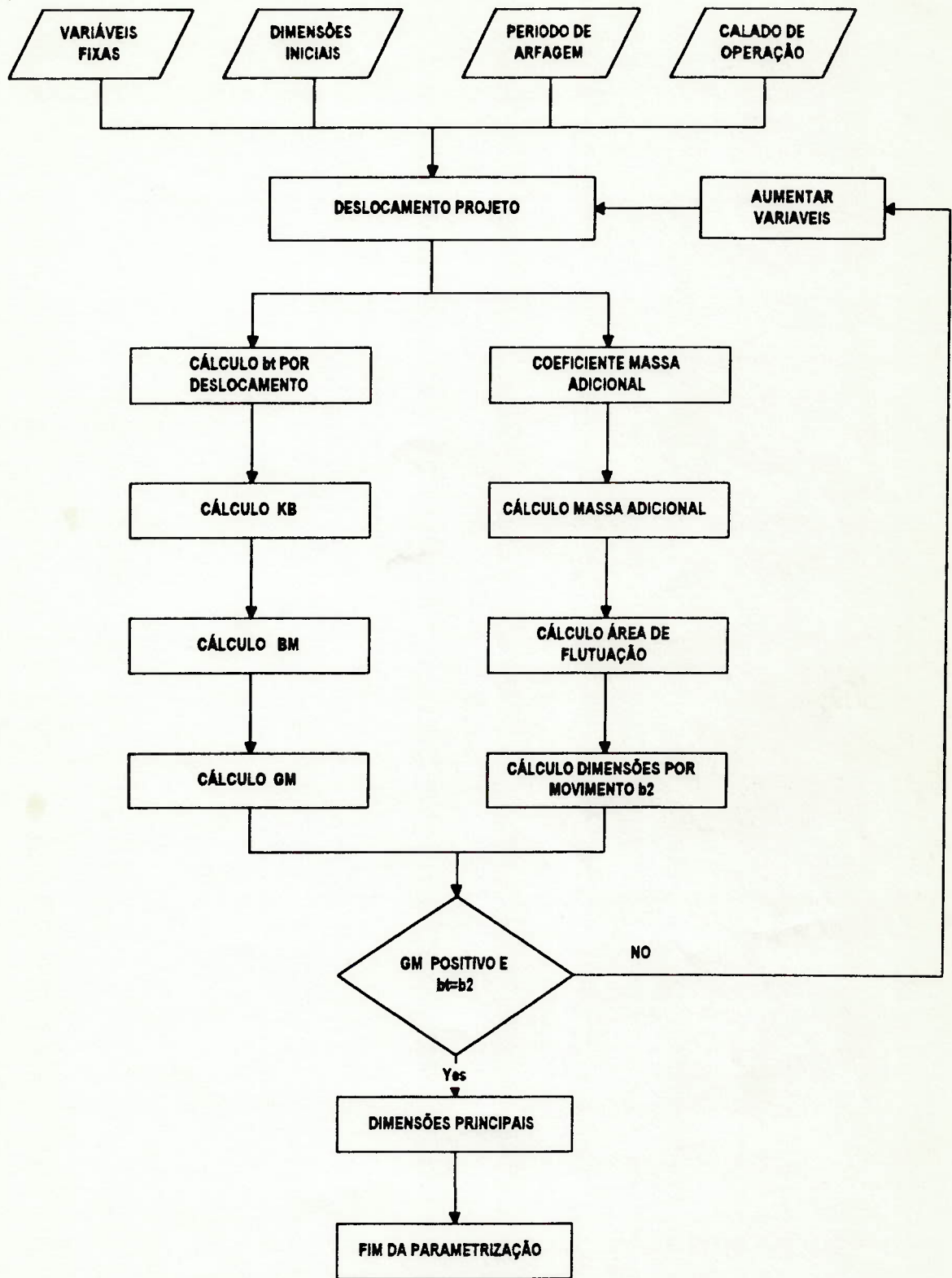


Figura 2.8 Filosofia de parametrização [3].

2.3.4 ESTABILIDADE INTACTA.

A experiência tem mostrado que uma plataforma semi-submersível intacta é uma estrutura oceânica geralmente estável, entretanto, muito crítica quando avariada. Em 1968, a *American Bureau Of Shipping* (ABS), publicou as primeiras regras para a construção e classificação de estruturas semi-submersíveis (Offshore Mobile Drilling Unit- MODU's). A novidade desta publicação foi a inclusão de critérios de estabilidade em condições intactas e de avarias. Modificados em 1973, os critérios da ABS foram adotados por muitas empresas; como resultado, estas regras foram incorporadas na IMO como parte dos "*Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Unit*" (MODU code) [14].

Estes critérios de estabilidade vigentes para as MODU's são resultados de experiências acumuladas com navios e são de caráter razoavelmente empírico. Porém, na década de 80, começaram a surgir critérios mais racionais, graças aos desenvolvimentos tecnológicos e aos recursos que a indústria oceânica tem fornecido. Os novos critérios de estabilidade intacta em ondas da ABS, já adotados como alternativos pela IMO, foram obtidos para determinadas condições ambientais do Golfo do México e do Mar do Norte, tudo isto, motivado pelos dois acidentes catastróficos de semi-submersíveis: Alexander Kielland em 1980 e Ocean Ranger em 1982, com um total de 200 mortes [14].

Neste trabalho so analisa-se a estabilidade intacta da plataforma. no entanto, devido as mudanças dos critérios em relação a estabilidade avariada, fica anotada a advertência para considerar o caso avariado no projeto de conversão. Isto porque as plataformas antigas foram projetadas de

acordo com os antigos critérios das sociedades classificadoras e na atualidade não podem satisfazer os critérios existentes.

Um critério de estabilidade constitui um modelo que serve de base para avaliação da segurança de uma unidade flutuante contra o emborcamento, incluindo uma série de indicadores numéricos e de requisitos associados para decisão [14].

Estes critérios fixam: valores mínimos para GM inicial; razão mínima da área da curva endireitamento-emborcamento e procedimento de cálculo das curvas de emborcamento-endireitamento.

As figuras 2.9a e 2.9b apresentam os parâmetros que influem na estabilidade de uma plataforma semi-submersível.

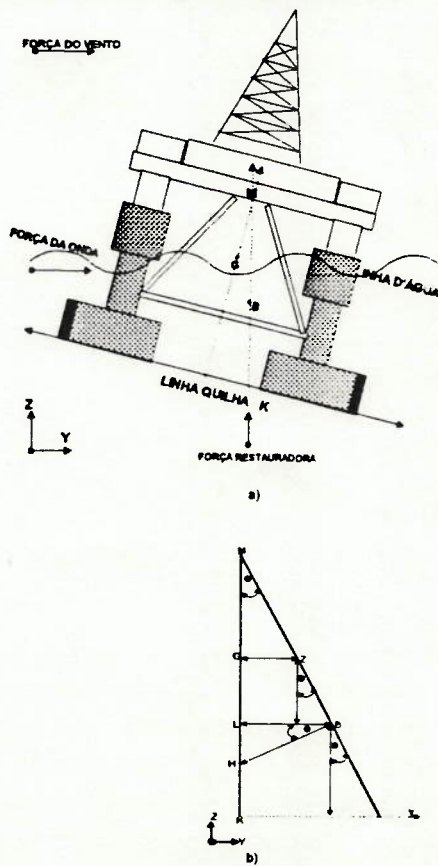


Figura 2.9 Parâmetros de estabilidade

Onde:

M = Metacentro.

B = Centro de carena.

G = Centro de gravidade.

A estabilidade inicial \bar{GM} é determinada por:

$$\bar{GM} = \bar{KM} - \bar{KG}$$

$$\bar{KM} = \bar{KB} + \bar{BM}$$

(2.6)

Onde

\bar{KB} = Valor da coordenada vertical de carena em relação a linha da quilha.

\bar{BM} = Raio metacêntrico, isto é, momento de inércia da área de flutuação com relação ao volume de carena.

\bar{KM} = Altura metacêntrica.

\bar{KG} = Altura do centro de gravidade em relação a quilha.

GM = Altura metacêntrica inicial.

Para ângulos de escora maiores do que 10° o parâmetro de controle da estabilidade é o braço de restauração GZ (figura 2.9b), pois a aproximação acima (para pequenos ângulos deixa de valer).

Da figura 2.9b o braço restaurador GZ pode ser obtido por :

$$\bar{GZ} = \bar{LB} - \bar{GL} \text{SEN} \Theta$$

$$\bar{LB} = \bar{HB} \text{COS} \Theta$$

$$\bar{GL} = \bar{KG} - \bar{KL}$$

$$\bar{KL} = \bar{KB} \text{SEN} \Theta$$

(2.6a)

Os valores desconhecidos na equação 2.6a são \bar{KB} e \bar{HB} e podem ser obtidos utilizando um programa do tipo CAD para modelagem de sólidos, no qual utiliza-se diferentes planos de corte para obter o volume submerso e centro de carena de um calado de operação para diferentes ângulos de inclinação.

Os valores anteriores de \bar{GZ} devem ser obtidos para os diferentes calados de projeto da plataforma.

Além dos fatores da estabilidade citados, as tabelas 2.4 e 2.5 apresentam os requisitos e os critérios de estabilidade intacta mais usados para unidades flutuantes de perfuração. No entanto, apesar destes critérios no princípio terem sido estipulados para plataformas de perfuração, serão adotados nesta metodologia para projetos de conversão.

Tabela 2.4 Requisitos e critérios de estabilidade intacta

ITEMS	REQUISITOS	ABS	DNV	IMO
1	Para cada condição de carregamento, o ângulo de equilíbrio estático, devido à velocidade do vento para determinada condição, deverá ter amplitude máxima de	Não há	Não há	Não há
2	Ângulo da segunda intersecção	Não há	Não há	Não há
3	Altura Metacêntrica inicial, GMO , para qualquer condição de carregamento.	Deve ser positiva	1.0 (m) 0.3 em condição temporária	Deve ser positiva
4	Mínima razão da área, para condição de sobrevivência, vento uniforme	1.3	1.3	1.3

Tabela 2.5 Condições dos ventos para os critérios de estabilidade

ITENS	REQUISITOS	ABS	DNV	IMO
1	<p>Velocidade do vento mínima</p> <p>a. Condição de Operação</p> <p>b.. Condição de sobrevivência</p> <p>c. Condição de alagamento e avaria</p>	<p>36.0 m/s</p> <p>25.8 m/s podem ser considerados para locais abrigados</p> <p>51.5 m/s e (40 m/s no Brasil)</p> <p>25.8 m/s</p>	<p>36.0 m/s</p> <p>25.8 m/s podem ser considerados para locais abrigados</p> <p>51.5 m/s e (40 m/s no Brasil)</p> <p>25.8 m/s</p>	<p>36.0 m/s</p> <p>25.8 m/s podem ser considerados para locais abrigados</p> <p>51.5 m/s e (40 m/s no Brasil)</p> <p>25.8 m/s</p>
2	<p>Momento de emborcamento devido ao vento</p> <p>a. Método a ser utilizado para determinação do momento de emborcamento</p>	<p>Através de cálculos (métodos descritos nas regras) ou de ensaios em túnel de vento.</p>	<p>Através de cálculos, usando um método reconhecido Um método é descrito, mas seu uso não é obrigatório</p>	<p>Através de cálculos (métodos descritos nas regras) ou de ensaios em túnel de vento.</p>
3	<p>Variação do momento com ângulo de inclinação</p> <p>a. Com unidades com forma de casco</p> <p>b. Para qualquer outro tipo de unidade</p>	<p>Proporcional ao seno do ângulo</p> <p>Deve ser calculada para um número suficiente de inclinações, de modo a definir a curva</p>	<p>Proporcional ao cosseno do ângulo</p> <p>Deve ser calculada para um número suficiente de inclinações, de modo a definir a curva</p>	<p>Proporcional ao cosseno do ângulo</p> <p>Deve ser calculada para um número suficiente de inclinações, de modo a definir a curva</p>
4	<p>Direções de inclinação e direções do vento a serem examinadas.</p> <p>a. Para estabilidade intacta</p> <p>b. Para estabilidade avariada</p>	<p>Os cálculos de emborcamento devem ser realizados de modo a reproduzirem uma faixa em torno do eixo mais crítico</p> <p>Vento em qualquer direção</p>	<p>O momento de emborcamento é calculado para o eixo mais crítico</p> <p>Segundo item 4a</p>	<p>O momento de emborcamento é calculado para o eixo mais crítico</p> <p>Vento em qualquer direção</p>

A fim de ilustrar as tabelas 2.4 e 2.5 acima descritas, tem-se: os critérios são verificados pelo cruzamento de duas curvas (a curva endireitamento e a curva emborcamento).

O momento de endireitamento, como foi dito anteriormente, pode ser calculado por métodos geométricos, utilizando programas do tipo cad, obtendo os diferentes valores de \bar{GZ} necessários para desenhar as curvas de estabilidade[15].

O segundo refere-se ao momento devido ao vento médio sem consideração de rajadas. O cálculo desta parcela é feita de forma aproximada ou estimada, segundo as normas das sociedades classificadoras.

Além dessa incerteza nos cálculos das curvas de estabilidade, existe uma série de fenômenos considerados nos critérios de maneira implícita, através de coeficientes de segurança. Estes fenômenos são: efeitos de rajada do vento, as ondas do mar e efeitos de segunda ordem, entre outros.

Pelo teorema da energia para um grau de liberdade pode-se escrever [14].

$$\int_0^{\theta} MT(\theta) d\theta - \int_0^{\theta} MR(\theta) d\theta - A_a = \frac{I \theta^2}{2}$$

(2.7)

Sendo:

θ = Ângulo de inclinação.

I = Momento de inércia I em relação ao eixo principal .

MT = Momento de emborcamento.

MR = Momento restaurador.

A_a = Amortecimento viscoso e de geração de ondas.

Considera-se normalmente que o processo de inclinação seja quase-estático, desprezando-se qualquer consideração cinemática. Pode-se substituir o terceiro e o quarto termo por um coeficiente de segurança, obtendo-se:

$$\frac{\int_0^{\theta} MR(\theta) d\theta}{\int_0^{\theta} MT(\theta) d\theta} \geq 1 + C$$

(2.8)

Com C igual a 0.3 para as MODU's

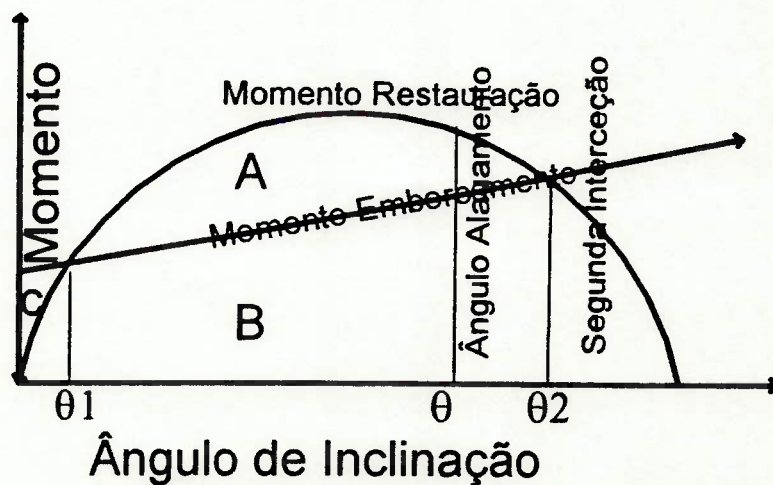


Figura 2.10 Curvas de emborcamento - restauração

Em termos da área da figura 2.10, deve-se fixar um ângulo limite como sendo o ângulo de alagamento θ_A , então tem-se o critério de razão de área:

$$\frac{A + B}{B + C} \geq 1.3$$

(2.9)

O eixo crítico de um corpo flutuante, em termos de estabilidade, é definido como o eixo em torno do qual a capacidade de restauração é mínima.

A definição original do eixo crítico, aplicada a estruturas navais, referia-se implicitamente apenas à inclinação de embarcações em águas calmas, sem a ocorrência de excitação externa.

Para navios mono casco, a escolha do eixo longitudinal central como crítico sempre foi óbvia.


Para as formas multi casco com baixas razões comprimento / boca, a escolha não é tão automática, devendo ser determinada através de cálculos de um conjunto de curvas de endireitamento, emborcamento, em torno de eixos de inclinação com orientação variando de 0° a 360° .

2.3.5 HIDRODINÂMICA.


A otimização do movimento de arfagem pode ser feita seguindo basicamente três etapas.

- a) Sintonizando o período natural de arfagem (TH).
- b) Sem variar TH, alterar as distribuições volumétricas do casco.
- c) Adição de dispositivos de minimização de movimentos.

Segundo a equação 2.10, os movimentos de primeira ordem das plataformas semi-submersíveis podem ser expressos por um conjunto de seis equações^[3].


$$\sum_{j=1}^6 B_{ij} S_j(t) = F_i(t) \quad (2.10)$$

Onde:


$$B_{ij} = (\delta_{ij} m_i + a_{ij}) \frac{d^2}{dt^2} + b_{ij} \frac{d}{dt} + c_{ij} \quad (2.10.a)$$

a_{ij} = Massa adicionada (ou momento de inércia da massa adicionada) na direção i , devido ao movimento do corpo na direção j .

b_{ij} = Amortecimento na direção i , devido ao movimento do corpo na direção j .

c_{ij} = Coeficiente de restauração na direção i , devido ao movimento do corpo na direção j .

m_i = Massa da plataforma.

δ_{ij} = 1 se $i=j$, ou 0 se $i \neq j$.

S_i = Deslocamento na direção i .

F_i = Força na direção i .

O movimento vertical de primeira ordem é o movimento de arfagem, o qual é o fator limitante numa plataforma com completação seca, por ser o movimento que induz a maior parte das tensões axiais nos *risers* rígidos de produção (excluindo os movimentos quasi-estáticos).

Solucionando a equação 2.10 e traçando o gráfico da amplitude adimensional do movimento de arfagem, obtém-se a resposta em arfagem de uma semi-submersível (figura 2.11).

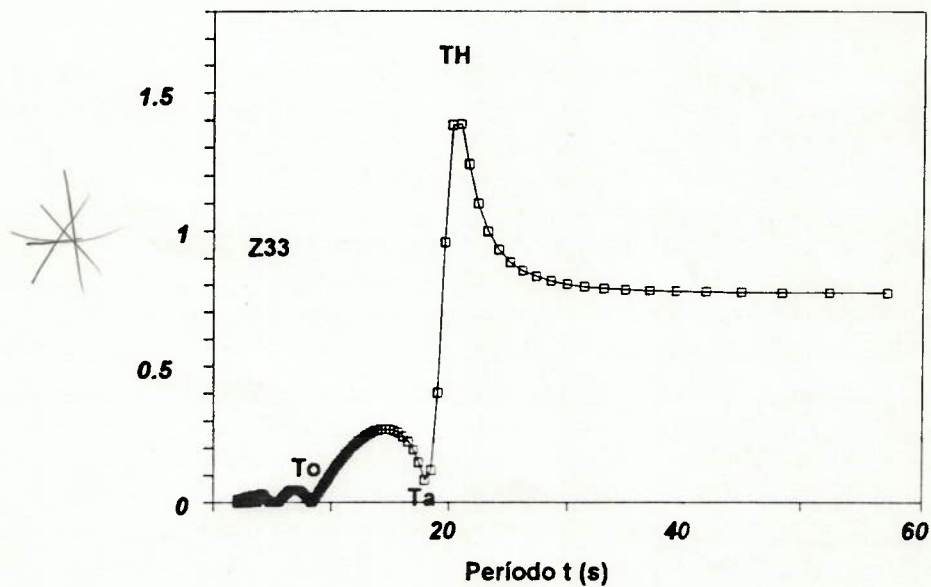


Figura 2.11 Resposta em arfagem

Onde

Z_{33} é a amplitude adimensional do movimento de arfagem.

T_o e T_a são os períodos de cancelamento da força em arfagem.

Solucionando a equação 2.10 tem-se o período natural de arfagem (TH), em uma semi-submersível, o qual é descrito como na equação (2.3):



$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_{tot} + \Delta_{adc}}{\rho * g * A_w}}$$

onde

Δ_{tot} = Deslocamento total da plataforma.

Δ_{adc} = Massa adicional em arfagem.

A_w = Área de flutuação.

ρ = Densidade do fluido.

g = Gravidade

O objetivo de analisar o comportamento hidrodinâmico de uma plataforma está em determinar o valor significativo do movimento de arfagem ($Z^{1/3}$) da seguinte forma:

$$Z^{1/3} = 4 * \sqrt{M_o}$$

Onde M_o é a área do espectro de resposta (figura 2.12.c).

O espectro de resposta é decorrente do cruzamento da resposta em arfagem (figura 2.12.a) com o espectro do mar característico da zona (figura 2.12.b).

Como o espectro de resposta é uma função do espectro da região de operação e da resposta em arfagem, deve-se afastar o período natural de arfagem (TH) o mais longe possível do período de pico do espectro

do mar (TP) (figura 2.12.d), sem esquecer da interdependência da estabilidade com o comportamento hidrodinâmico [3]. Isto é:

a) Ao aumentar-se a área de flutuação a estabilidade inicial da embarcação aumenta pelo incremento do raio metacêntrico (BM na equação 2.6), embora o período natural de arfagem diminua (equação 2.3) e tenda a entrar na faixa do espectro do mar de maior energia (figura 2.12d).

b) Ao diminuir-se a área de flutuação, o período natural de arfagem afasta-se do espectro do mar de maior energia, embora a estabilidade inicial diminua.

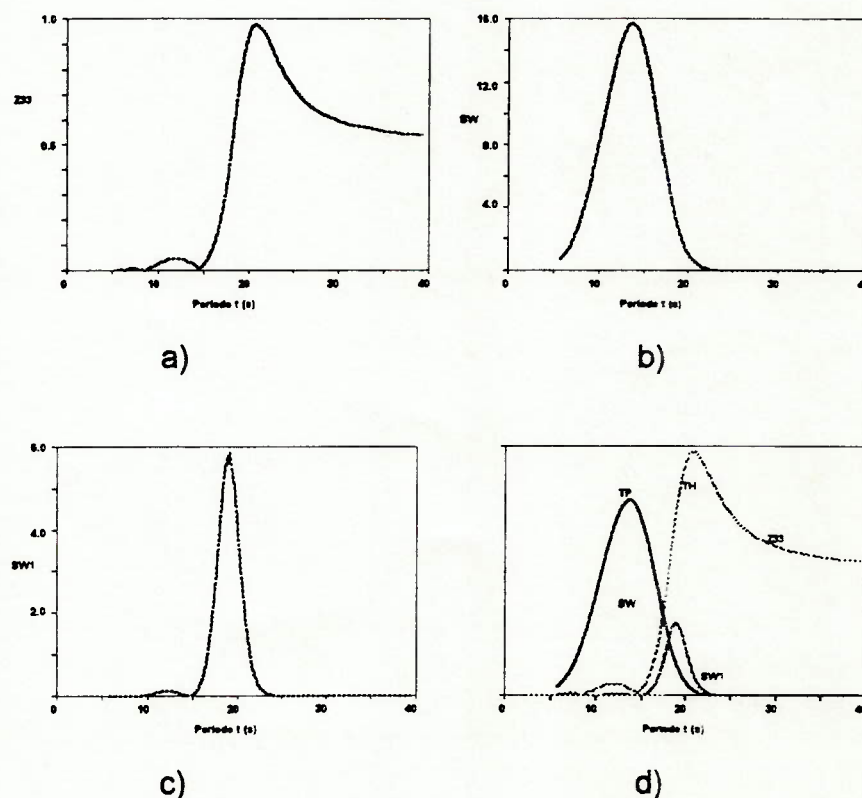


Figura 2.12 Curvas de resposta e espectro do mar.

Onde:

S_w = Energia do espectro do mar (m^2-s).

S_{w1} = Energia espectro resposta (m^2-s).

Z_{33} = Amplitude adimensional do movimento de arfagem.

TP = Período pico do espectro do mar (s.)

TH = Período natural de arfagem (s.).

Segundo [17], e observando a figura 2.12d deduz-se que as plataformas semi-submersíveis devem ser projetadas para ter um período natural de arfagem (TH) da ordem de 20 s (para o caso da bacia do campos), longo em relação ao período pico do espectro do mar (TP), de tal maneira que sua ressonância em arfagem esteja na faixa do espectro do mar de menor energia e ao mesmo tempo, não mais que o estritamente necessário..

Da mesma forma que os movimentos de primeira ordem, as forças atuantes numa estrutura semi-submersível podem ser descritas por [3] [5]:

$$F_z = \rho g \zeta_a \iint_S \left(\frac{\partial \Phi}{\partial n} - \Phi \frac{\partial}{\partial n} \right) e^{kz + ik(x \cos \chi + y \sin \chi)} e^{i\omega t} ds$$

(2.11a)

Onde

Φ = Potencial de onda incidente.

χ = Direção da onda.

ζ_a = Amplitude da onda.

k = Número de onda.

S = Superfície do corpo.

A equação 2.11a pode ser dividida em:

$$* F_{z1} = \rho g \zeta_a \iint_S \frac{\partial \Phi}{\partial n} e^{kz + ik(x \cos \chi + y \sin \chi)} e^{i\omega t} ds \quad (2.11b)$$

$$* F_{z2} = -\rho g \zeta_a \iint_S \Phi \frac{\partial}{\partial n} e^{kz + ik(x \cos \chi + y \sin \chi)} e^{i\omega t} ds \quad (2.11c)$$

Onde:

F_{z1} = Parcela de froude-krilov;

F_{z2} = Força de difração.

Solucionando as equações 2.11b e 2.11c encontram-se as forças atuantes na plataforma, tanto na coluna como no tubulão (equações 2.12a e 2.12b).

$$* F_c = \rho g \zeta_a \sum \{ A_{wj} (1 + kz_{mj}) e^{-kz_{mj} + ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)} \} \quad (2.12.a)$$

$$* F_p = -\rho g \zeta_a \sum (\Delta_j + m_j) e^{-kz_{mj} + ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)} \quad (2.12.b)$$

Onde:

F_c = Força nas colunas.

F_p = Força nos tubulões

Δ_j = Deslocamento do elemento j.

m_j = Massa adicional do elemento j.

k = Número de ondas w^2/g .

g = Gravidade.

A_{wj} = Área de flutuação.

Z_{mj} = Coordenada vertical do centro de massa do elemento j .

X_j = Coordenada em X do centro de massa do elemento j .

Y_j = Coordenada em Y do centro de massa do elemento j .

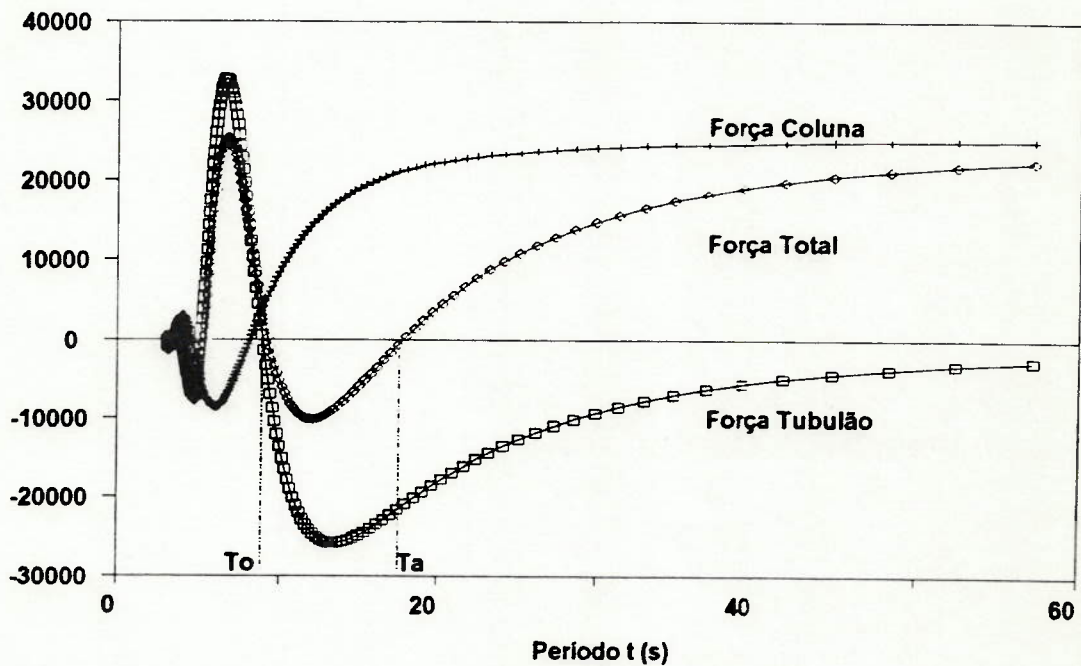


Fig 2.13 Forças de excitação em arfagem

A figura 2.13 apresenta a variação das forças de excitação na plataforma quando está submetida as ondas do mar. O sentido negativo das forças mantém-se para diferenciar e observar as faixas onde predominam as diferentes forças das colunas e tubulões.

Retornando à figura 2.13, aprecia-se que existe uma frequência muito próxima à frequência natural de arfagem, denominada *WAVELESS FREQUENCY* (frequência de cancelamento de forças), na qual a força excitante no movimento de arfagem é zero (T_a).

É interessante manter o período natural de arfagem na faixa do espectro do mar onde a energia é menor ou aproximá-lo à *Waveless frequency*. Neste conceito, o movimento de arfagem seria duplamente minimizado, porque a frequência natural do sistema é baixa e por outro lado, porque a força excitante seria minimizada na faixa de frequência das ondas do mar [3].

Isto pode ser feito aumentando a relação dos volumes coluna e tubulão, isto é difícil pela dependência com o período natural de arfagem. Se a relação volume da coluna / tubulão aumenta, o período natural de arfagem diminui e pode entrar na faixa do espectro do mar de maior energia (equação 2.3).

Um estudo da parcela da força $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ nas equações 2.11 mostra:

a) Para baixas frequências ($k \ll 0$ ou períodos altos), a parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ não tem influência nos valores das forças e o período de cancelamento T_a depende basicamente da relação entre o volume do tubulão e a coluna.

b) Para altas frequências (baixos períodos), a parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ ganha mais peso e a distribuição dos volumes do casco submerso é muito importante, por conseguinte, deve ser levada em consideração para sintonizar o período de cancelamento de forças T_o .

Para minimizar a força total sobre a plataforma nas faixas do espectro do mar com maior energia, observa-se um efeito benéfico quando as forças nas colunas aumentam em relação as forças nos tubulões (figura 2.13). O anterior é logrado:

- a) Concentrando os volumes dos tubulões o mais afastado possível do centro da plataforma, diminuindo o valor da parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ na equação 2.12b (força atuante sobre o tubulão).
- b) Concentrando as áreas de flutuação próximas do centro da plataforma, aumentando o valor da parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ na equação 2.12a (força atuante sobre a coluna).

Assim sendo, dadas as principais dimensões de plataformas semi-submersíveis e as formas geométricas do casco, é possível realizar distribuição de volumes submersos para sintonizar as faixas de frequência onde a plataforma tem melhor comportamento.

A figura 2.14 elucida os elementos do tubulão, eixos principais e ângulo de incidência das ondas do mar.

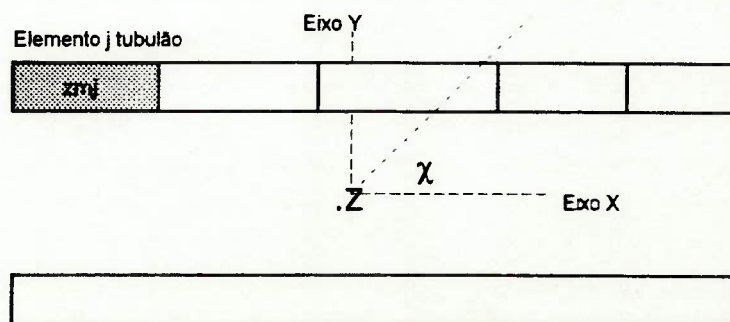


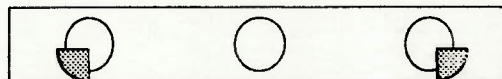
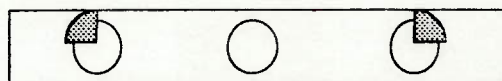
Figura 2.14 Elementos dos tubulões

A fim de validar os critérios apresentados para distribuir os volumes do casco submerso , estabelece-se um modelo para analisar a variação da amplitude significativa de arfagem ($Z^{1/3}$) com a distribuição das áreas de flutuação e volume do tubulão,

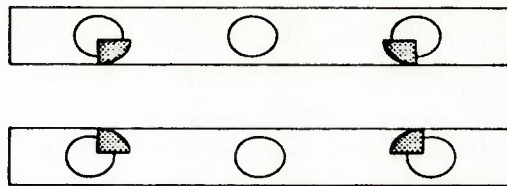
Os seguintes parâmetros devem ser assumidos:

- a) Ondas incidentes a 0° e 90° .
- b) Discrimina-se o modelo em elementos de colunas e tubulões.
- c) Para todos os casos a analisar, mantém-se constante o deslocamento do modelo e a relação volume do tubulão / volume da coluna.
- d) Metodologia de análise baseada no método proposto por HOOFT e na teoria de potencial (figura 2.15). A interação hidrodinâmica dos elementos entre si é desprezada, isto é, calculam-se os esforços sobre cada elemento como se ele estivesse isolado.
- e) Escolhe-se sete casos para distribuir as áreas de flutuação (*blisters* sombreados e colunas em branco).

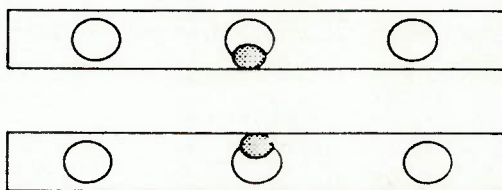
Caso 1 *Blister*s nas colunas externas voltadas para fora



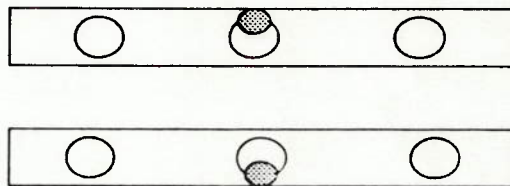
Caso 2 *Blisters nas colunas externas voltadas para dentro*



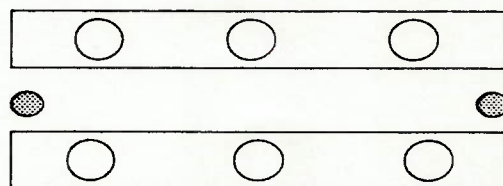
Caso 3 *Blisters nas colunas internas voltadas para dentro*



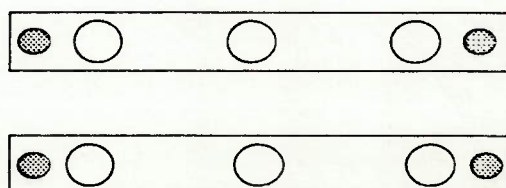
Caso 4 *Blisters nas colunas internas voltadas para fora*



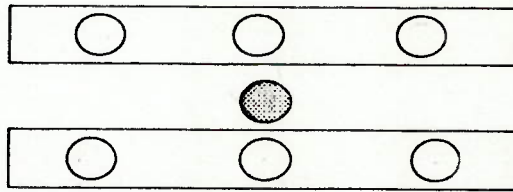
Caso 5 *Adição de coluna na linha de centro, frente e ré*



Caso 6 *Adição de colunas em cada tubulão frente e ré*

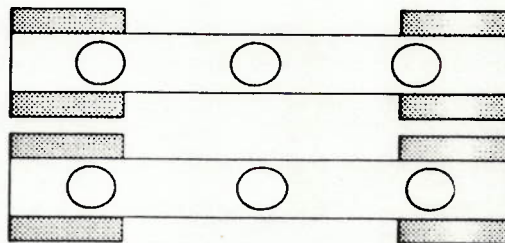


Caso 7 Adição de uma coluna no centro da plataforma

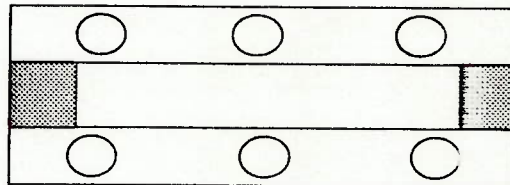


g) Escolhe-se quatro casos para distribuir os *sponsons* nos tubulões (*sponsons* sombreados e tubulões em branco).

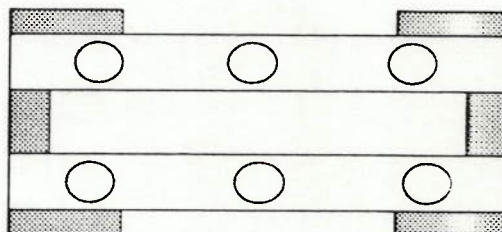
Caso 1



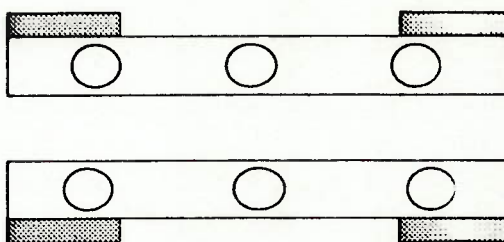
Caso 2



Caso 3



Caso 4



h) A fim de avaliar as diferentes respostas para cada um dos casos anteriores, escolhe-se para estudo um modelo de 24000 tons. A tabela 2.6 elucida as dimensões do modelo de análise.

Tabela 2.6 Dimensões do modelo S24000

ITENS	Dimensões
Modelo	S24000
Deslocamento.	24000 t
Número de tubulões.	2
Comprimento do tubulão.	92.0 m
Boca do tubulão.	14.0 m
Altura do tubulão.	6.10 m
Número de colunas.	6
Diâmetro das colunas.	9.4 m
Volume total dos <i>sponsons</i> .	1218 m ³ .
Comprimento dos <i>blisters</i> .	12 m
Área de flutuação total .	436.48 m ²
Período natural de arfagem.	20 s.
Calado de operação.	24.65 m

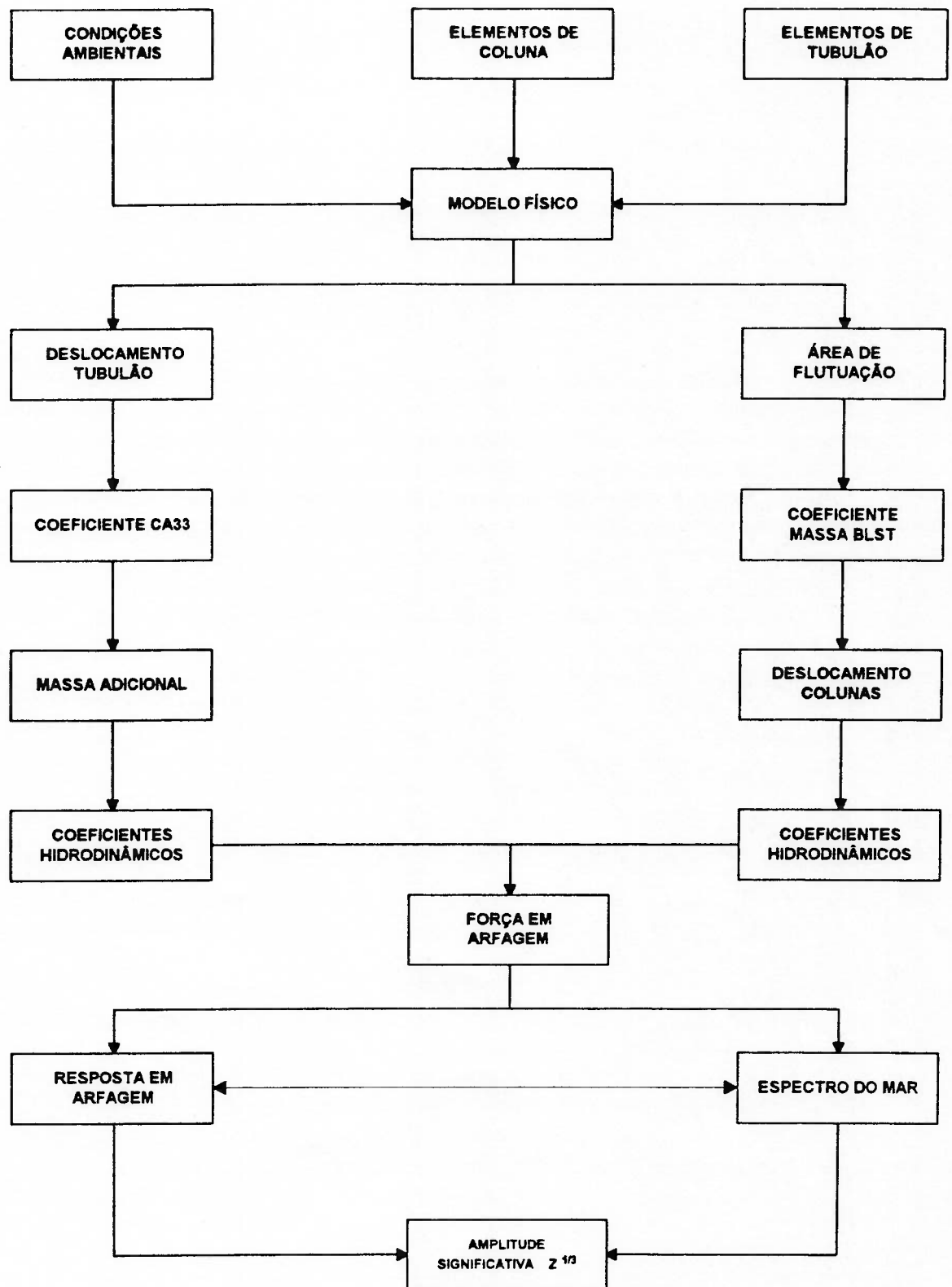


Figura 2.15 Metodologia para análise hidrodinâmica

Com base nos parâmetros acima citados e utilizando a metodologia de análise ilustrada na figura 2.15, obtém-se a amplitude significativa do movimento de arfagem para cada um dos sete casos utilizados para distribuir as áreas de flutuação (tabela 2.7).

Tabela 2.7 Amplitude significativa das áreas de flutuação.

Caso Nº	Onda a 0 graus	Onda a 90 graus
Caso 1	1.640 m	1.509 m
Caso 2	1.590 m	1.480 m
Caso 3	1.530 m	1.470 m
Caso 4	1.530 m	1.520 m
Caso 5	1.670 m	1.230 m
Caso 6	1.670 m	1.490 m
Caso 7	1.530 m	1.230 m

Como é de se esperar, a menor resposta para ondas a 90° e 0° é para o caso 7, pois as áreas de flutuação estão distribuídas no centro da plataforma, eixo $y=0$ e $X=0$, porém, nesses casos o modelo possa ter problemas de estabilidade, isto é, perda de BM (raio metacêntrico) por ter áreas de flutuação no centro da plataforma.

Para ondas a 0 graus os casos 3, 4 e 7 apresentam uma resposta aceitável, mas as configurações anteriores, além de apresentarem dificuldades na construção, podem ter interferências com as linhas de *risers* que geralmente estão no centro da plataforma (quando *risers* rígidos).

Levando-se em consideração o eixo crítico da plataforma quando avariada (perda de uma coluna externa), adota-se os casos 1 e 2 como a melhor configuração por apresentar maior restauração nesta condição.

A escolha entre a distribuição dos *blisters* nas partes internas ou externas das colunas varia de plataforma para plataforma e deve ser feita após uma avaliação de estabilidade inicial com o comportamento em ondas a fim de determinar quais são os valores de mérito de ambos os casos, por exemplo: o caso 1 na distribuição das áreas de flutuação apresenta maior altura metacêntrica (GM) e pior comportamento em ondas, pelo fato de apresentar maior raio metacêntrico (BM) e áreas de flutuação afastadas da linha de centros em relação ao caso 2.

A tabela 2.8 mostra o valor da amplitude significativa do movimento de arfagem para cada um dos quatro casos utilizados para distribuir os *sponsons* nos tubulões.

Tabela 2.8 Amplitude significativa dos *sponsons*.

	0 graus	90 graus
Caso 1	1.910 m	1.850 m
Caso 2	1.890 m	1.950 m
Caso 3	1.880 m	1.830 m
Caso 4	1.800 m	1.600 m

Em relação à distribuição dos *sponsons*, a menor amplitude significativa do movimento de arfagem é obtida através do caso 4, embora o caso 3 seja mais factível, pois garante menores esforços nos

contraventamentos. Mas, se o objetivo primordial desta metodologia é garantir mínimos movimentos, deve-se adotar o caso 4.

Considerando os diferentes casos analisados, sejam distribuições de áreas de flutuação ou distribuições dos *sponsons*, chega-se a conclusão que a mínima resposta em arfagem pode ser obtida para ondas a 90 graus, assim sendo, a configuração apresentada na figura 2.16 será a proposta para minimizar a resposta em arfagem da plataforma a ser convertida.

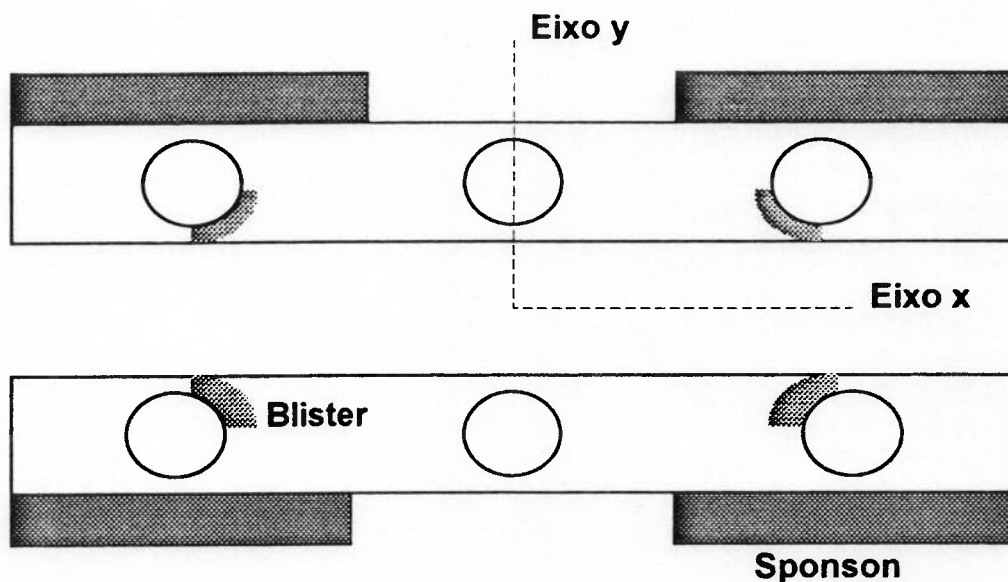


Figura 2.16 Distribuição do casco submerso a ser proposta

Onde a escolha das configurações interna ou externa do *blisters* (caso 1 e caso 2 respectivamente), devem ser avaliada como foi dito anteriormente.

2.3.6

ESTRUTURA

Em qualquer projeto estrutural deseja-se conciliar, da melhor forma possível, os seguintes requisitos gerais:

- a) Mínima probabilidade de ocorrência de falhas.
- b) Mínimo custo de fabricação.
- c) Mínimo custo de manutenção.
- d) Mínimo peso.
- e) Máxima funcionalidade, isto é, máxima facilidade oferecida pela estrutura a todas as funções necessárias de operação.

Obviamente os requisitos acima citados são até certo ponto antagônicos e sua importância relativa dependerá de cada projeto. A fim de garantir uma convergência nas etapas do projeto estrutural, é proposta a metodologia da figura 2.17.

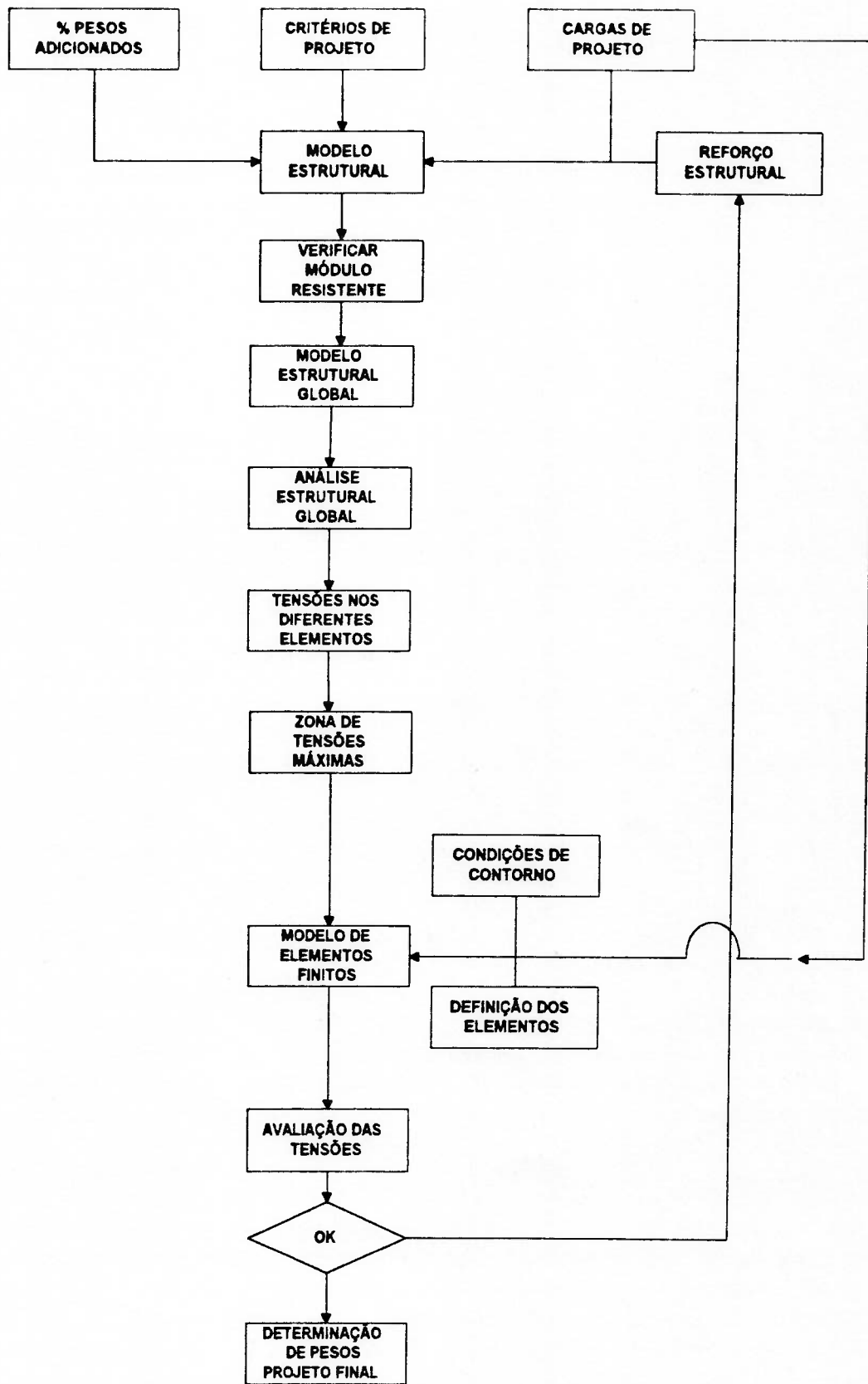


Figura 2.17 Metodologia de análise estrutural.

Um critério de projeto bem estabelecido deve garantir a satisfação do primeiro requisito e orientar, direta e indiretamente, a satisfação dos demais, além disto, deve levar a uma rápida convergência dos ciclos de projetos.

"A função principal de um critério de projeto é minimizar a probabilidade de ocorrência de falhas. Esta função não poderá ser devidamente avaliada sem detida reflexão sobre discussões presentes. Deve-se frisar que um critério de projeto é um juízo, uma opinião, destinada a avaliar de forma implícita, bastante subjetiva e geralmente determinística, se uma estrutura tem probabilidade aceitável de falhas. Um critério de projeto é uma amálgama de experiências, raciocínios e suposições, formada ao longo do tempo, envolvendo um grande número de pessoas. Desta forma, é difícil, se não impossível, encontrar um só indivíduo capaz de apresentar logicamente todos os elementos que conduziram a sua formulação.

Assim sendo, um critério de projeto só é verdadeiramente significativo quando estabelece, simultaneamente, os carregamentos e respectivos modelos de análises, com as correspondentes tensões admissíveis.

A tensão admissível por si só carece totalmente de sentido. Entretanto, frequentemente, encontram-se tensões admissíveis quando se pesquisam critérios"[10].

Seria longa a enumeração de todos os critérios necessários ao projeto das várias estruturas. Citaremos apenas os principais:

- a) Critério para resistência a deformações primárias.
- b) Critério para resistência a deformações secundárias.
- c) Critério para resistência a deformações secundárias transversais.
- d) Critério para resistência a deformações terciárias.

As deformações primárias causam falhas por escoamento, fratura e instabilidade. A última pode envolver poucas unidades de chapeamento, chapas e longitudinal de convés ou uma grande região da grelha do convés.

O carregamento estático é deverá ser adotado segundo as diferentes cargas de projeto, bem como os métodos de cálculo e as tensões admissíveis. Estas porém, referem-se a previsão de falhas por escoamento na estrutura. As falhas por fratura estarão automaticamente consideradas, exigindo-se adequadas propriedades de ductilidade. Quanto a estabilidade estrutural, poderão ser adotados os mesmos carregamentos, considerando-se porém, uma unidade de chapeamento, um longitudinal entre dois transversais ou uma grelha.

O procedimento ideal para o projeto estrutural de uma estrutura oceânica, comportaria muitas fases, tais como:

- a) Especificação de requisitos de arranjo, de fabricação e de manutenção.
- b) Especificações de cargas com suas leis de variação sob a estrutura.

c) Estabelecimento de critérios cientificamente fundamentados, para tensões e deflexões admissíveis, em combinação com os seguintes fatores: materiais, ação corrosiva do meio e ciclagem dos esforços .

d) Conceito inicial da estrutura por um processo automatizado de sínteses, desenvolvido para o tipo de estrutura em estudo, com base em projetos anteriores ou estudos de otimização.

e) Estudo da estrutura por um processo automatizado de análise, tendo como núcleo uma teoria elasto-plástica.

A resistência longitudinal concentra a maior parte da pesquisa em estruturas navais. Falhas catastróficas podem advir de inadequada resistência longitudinal. Métodos de cálculos relativamente simples, como a teoria da viga em flexão, oferecem resultados razoavelmente bons para o estudo das tensões primárias [18].

Com a resistência transversal ocorre mais ou menos o inverso. Um método simples de análise não promete resultados confiáveis. A resistência transversal deveria ser analisada considerando-se a estrutura como um todo e sujeita a cargas que realmente atuam, mas a análise simultânea de todas as estruturas apresentam problemas computacionais, de tempo e de custo que a torna inviável.

Assim sendo, torna-se necessário substituir a estrutura por outra que reduzindo-lhe a extensão e simplificando-lhe os detalhes, ajuste-se às

possibilidades do método de análise que se escolhe e às limitações de custo e tempo que existam. Também torna-se freqüentemente necessário padronizar os carregamentos a serem considerados na análise, tornando-os estáticos. A natureza dinâmica das cargas somente será incluída quando claramente preponderarem, como ocorre no estudo de vibrações.

A estrutura reduzida denomina-se modelo físico para análise, ou simplesmente modelo físico. A concepção do modelo físico baseia-se na hipótese das seções planas para deformação, ou seja, assume-se que conveses e anteparas trabalham em conjunto, fornecendo pequenas deformações.

Uma vez definido o modelo de elementos finitos (figura 2.18), os carregamentos de projeto podem ser estabelecidos (figura 2.19), para obter o diagrama de variação das tensões nos elementos do modelo (figura 2.20). Assim sendo, os resultados obtidos podem ajudar na determinação das zonas mais afetadas pelos aumentos de cargas no projeto de conversão.

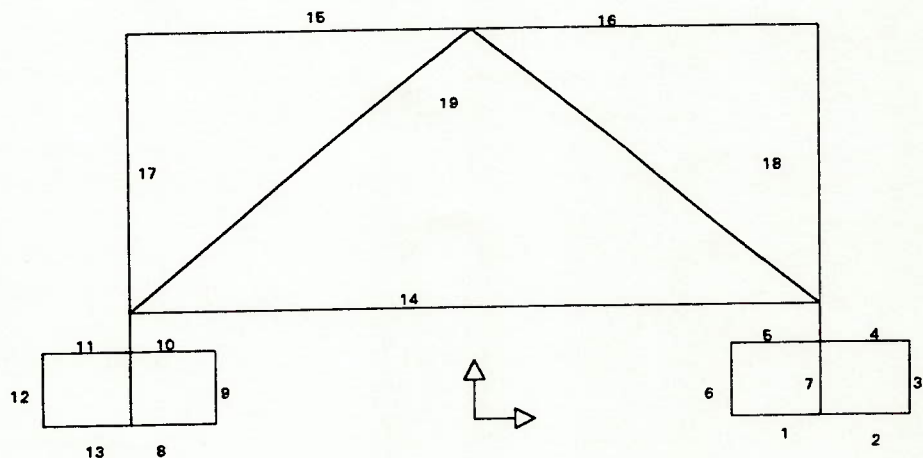


Figura 2.18 Modelo de elementos finitos.

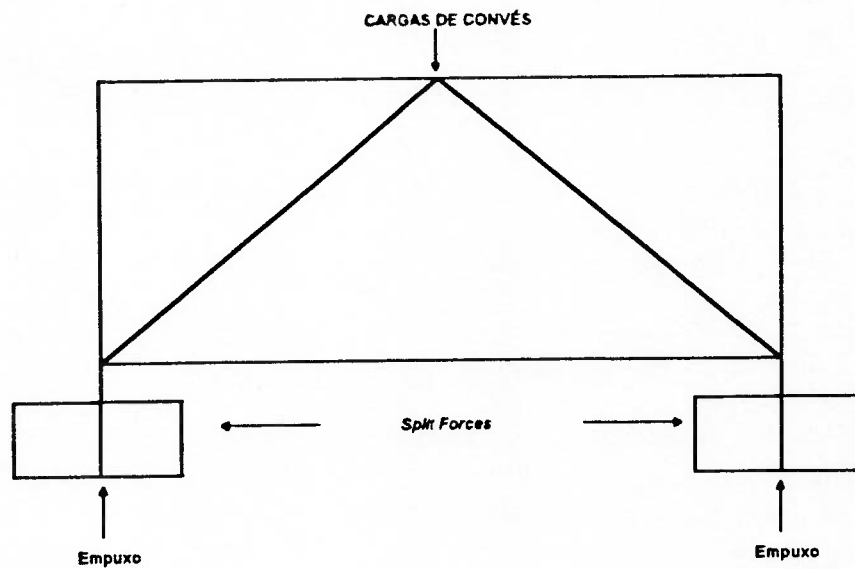


Figura 2.19 Carregamentos de projetos

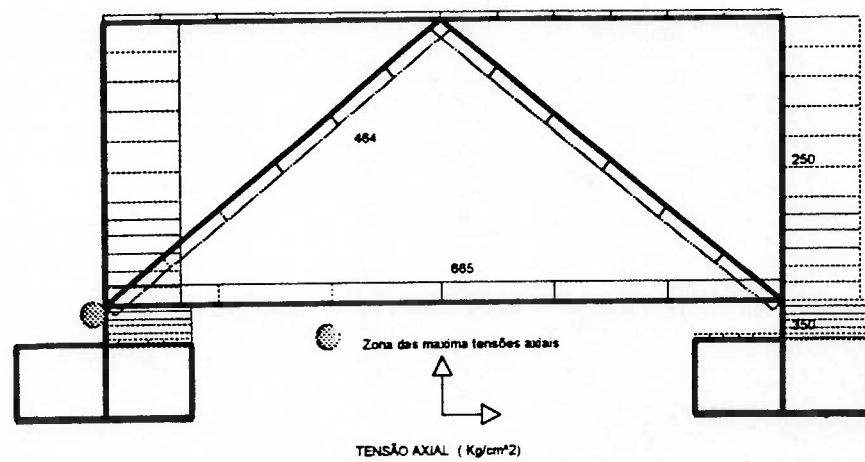


Figura 2.20 Diagrama de tensões

No modelo, os elementos de viga que representam a estrutura transversal de cavernas e anteparas, têm a função de unir os nós com os nós da estrutura longitudinal. Torna-se necessário, portanto, determinar os valores das constantes elásticas de cada uma dessas vigas, reproduzindo a rigidez da estrutura transversal.

É evidente que a representação de uma estrutura complexa, como a da plataforma, por um modelo simplificado de cálculo como o proposto, implica na necessidade de extrair parâmetros da estrutura que, atribuídos ao modelo, permitam uma razoável simulação de seu comportamento.

Quanto mais simples for o modelo, maior é a dificuldade na extração de parâmetros confiáveis. Isto, contudo, por mais paradoxal que possa parecer não implica na obrigatoriedade de elaboração de um modelo complexo, que na presente metodologia deve ser tridimensional.

Acredita-se que a arte de uma boa modelagem resida muito mais na administração das limitações do modelo, do que numa eventual verossimilhança estética.

Assim, o problema de extrair constantes elásticas para as vigas, que em nosso caso representam as cavernas, pode ser tratado através da análise das seções transversais por modelos planos isolados.

Entende-se por anel (figura 2.21), a fatia transversal que se corta do restante de uma estrutura, a qual recebe a ação dos carregamentos externos. Estes carregamentos são equilibrados pelas tensões de cisalhamento nos contornos dos diferentes planos de corte.

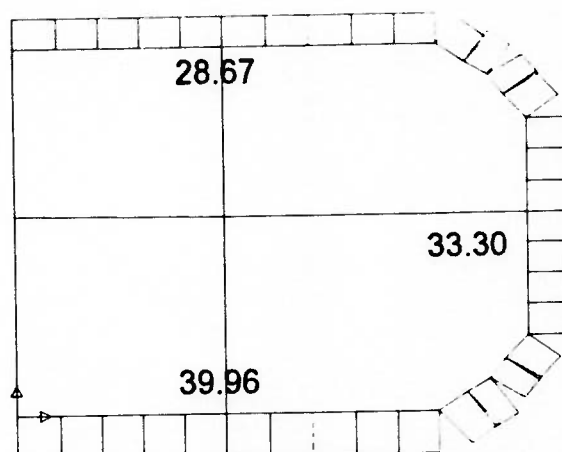


Figura 2.21 Carregamentos numa seção transversal (kg/mm).

A questão crucial, portanto, da concepção do modelo plano para análise das cavernas isoladas, reside no modelo pelo qual tais esforços de contorno devem ser arbitrados. As tensões de cisalhamentos equilibrando o carregamento externo, são o resultado da caverna com a estrutura longitudinal^[19].

Para a análise do modelo estrutural da plataforma pelo método dos elementos finitos, utiliza-se os programas estruturais: SAP-90, TRANSEC, TRANSPLT, TRANSFIN ^[18] ^[19].

Para modelar os diferentes membros estruturais, utilizam-se os seguintes tipos de elementos para a análise:

- a) Elementos de membranas, para representar a rigidez total do sistema devido ao chapeamento.

b) Elementos de vigas, para modelar os perfis estruturais da plataforma, sejam leves ou pesados.

c) Elementos de molas, representando apoios elásticos da estrutura longitudinal.

Os parâmetros tais como as cargas de projeto devido as pressões laterais e condições de contornos devem ser estipuladas pelo projetista de acordo com as sociedades classificadoras.

Experiências têm demonstrado que o método dos elementos finitos apresenta bons resultados. É responsabilidade do projetista entendê-los e aplicá-los à realidade.

A figura 2.22 ilustra os resultados das tensões e momento fletor obtidos pelo método.

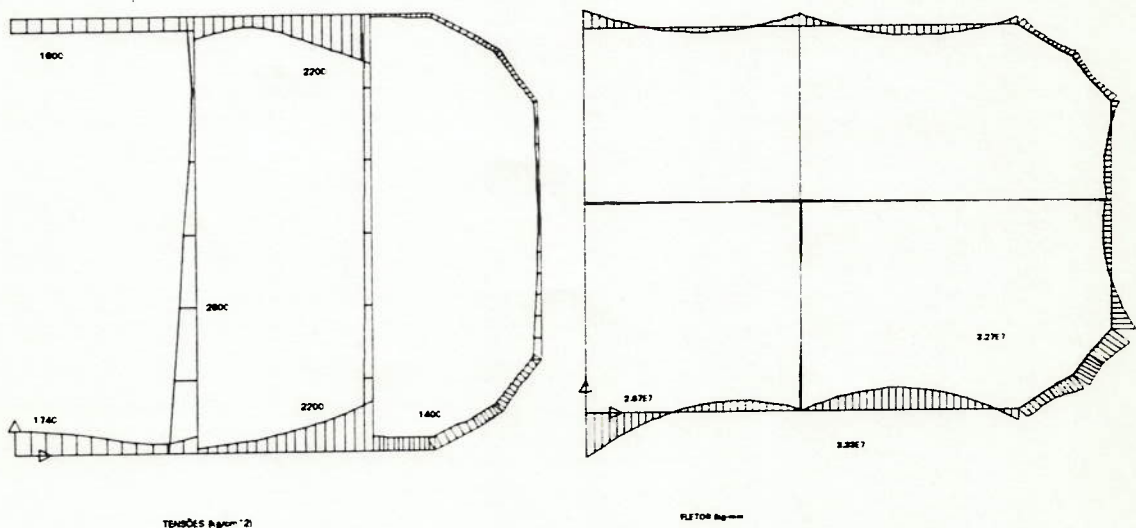


Figura 2.22 Diagrama de tensões e momento fletor.

Da anterior maneira são abordados os diferentes critérios e procedimentos estipulados para o projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis.

Para a análises da etapa Pesos e Centros (Anexo C), devem-se abordar os critérios de projeto dos sistemas de risers e amarração, estes critérios visam:

- a) Selecionar os tipos de riser e tensão do topo, para determinar o peso total suministrado ao sistema de compensação [20].
- b) Escolher o tipo de sistema de amarração a ser utilizado e a tensão máxima admissível na linha mais carregada para determinar o comprimento e pesos das amarras [21].

Consequentemente, para elucidar os critérios e procedimento anteriormente, desenvolver-se-á uma espiral de projeto de conversão para uma plataforma em especial.

3 EXEMPLO APLICATIVO DO PROJETO DE CONVERSÃO DE SEMI-SUBMERSÍVEIS

A presente seção é um desenvolvimento da espiral de projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis de perfuração à produção. Foi solicitada pela PETROBRÁS com apoio do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Universidade de São Paulo.

Com base nos procedimentos e critérios de conversão, tratados no capítulo 2.0, desenvolver-se-á uma espiral de projeto como um exemplo aplicativo da metodologia de conversão acima proposta.

3.1 REQUISITOS DO ARMADOR

Esta etapa é o módulo inicial da metodologia de conversão, a qual além de ser caracterizada pela total dependência das necessidades do armador, tem como objetivo básico o estabelecimento de uma linguagem comum entre o armador e o projetista, tripé das bases do projeto de conversão.

A tabela 3.1 mostra os termos chaves que compõem os requisitos do armador.

Tabela 3.1 Requisitos do armador

Lâmina d'água	1000.0 m.
Norma	ABS 91, IMO, MODU 91
Classe	<i>Floating Production Unit</i>
Tempo do reservatório	20 anos
Completação	Seca
Tipo de separação	Primária e secundária
Exportação	Monoboia a 1 1/2 quilômetros
Máximo movimento de arfagem (dupla amplitude)	7,6 m (25 pés)
Offset máximo intacto (centenário)	6 % da lâmina d'água
Ângulo máximo na avaria	10 graus
Velocidade do vento (100 anos e condição de operação).	35 m/s (70 Knots)
Capacidade de produção	30000.0 bopd
Consumíveis	2000.0 t
Lastro	O necessário para operação

Os requisitos anteriores foram estipulados pela PETROBRÁS e são dados essenciais para o início da metodologia de conversão de plataformas semi-submersíveis, a ser tratada no presente estudo.

3.2 SELEÇÃO DA PLATAFORMA A SER CONVERTIDA

Pela extensão do estudo para avaliar as diferentes plataformas existentes nas costas brasileiras, o Departamento de Produção da

PETROBRÁS estudou um número de plataformas disponíveis que cumprem com os requisitos básicos, tais como: capacidade de aumento de cargas no convés, área de convés, calado de operação e vida residual. O resultado da avaliação levou à escolha da plataforma PETROBRÁS-XIII (PBXIII).

A tabela 3.2 mostra os valores das dimensões principais da plataforma PBXIII, cuja geometria é ilustrada na figura 3.1. A figura 3.2 ilustra o arranjo inicial da plataforma ainda na condição de perfuração.

Tabela 3.2 Variáveis principais da PBXIII

ITENS		UNIDADES
Deslocamento	22642.0	t
Comprimento total	92.0	m
Boca	69.0	m
Distância eixo a eixo dos tubulões	55.0	m
KG máximo	18.4	m
GM	2.35	m
Área de flutuação	416.3	m ²
Tubulões		
Comprimento	92.0	m
Boca	14.0	m
Pontal	6.10	m
Colunas		
Diâmetro	9.40	m
Trecho cilíndrico	27.10	m
<i>Air gap</i>	11.6	m
Peso do convés	6000.0	t
Período de arfagem	21.6	s.
Calado de operação	21.6	m

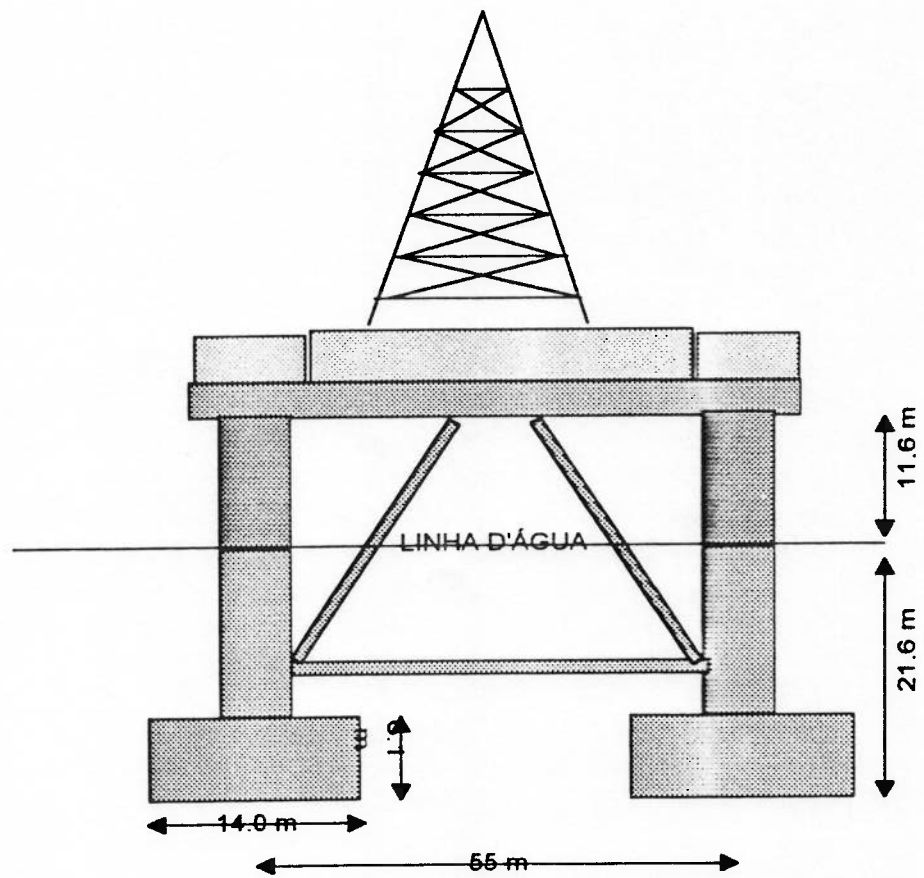
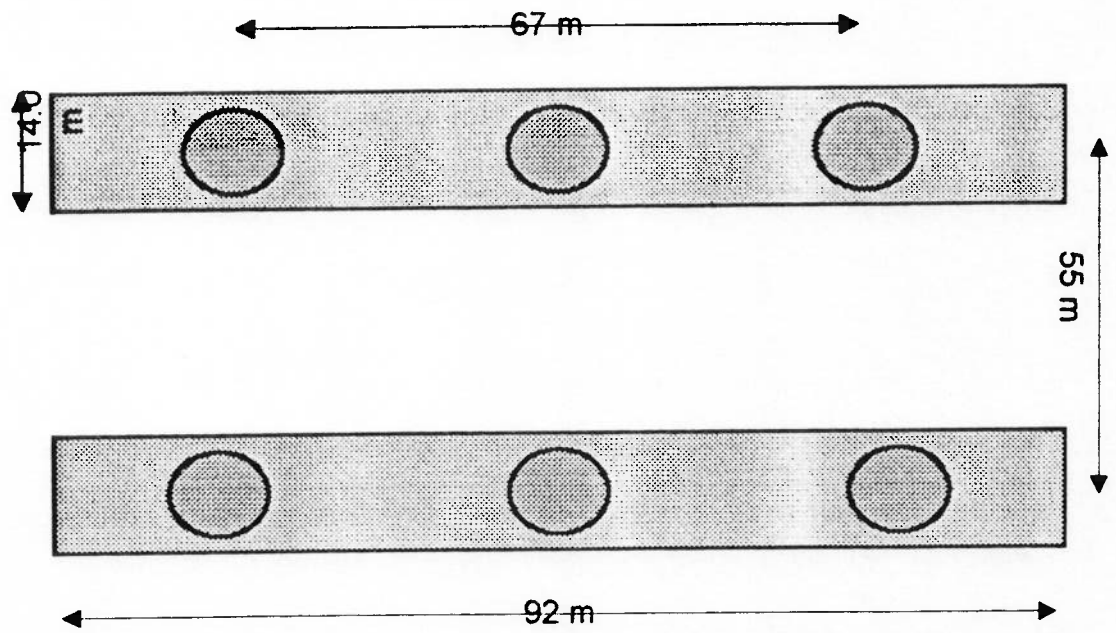


Figura 3.1 Dimensões principais PBXIII

3.2.1 CAPACIDADE DE AUMENTO DAS CARGAS NO CONVÉS DA PLATAFORMA PBXIII

A presente seção trata da validação dos dados obtidos pela PETROBRÁS na avaliação da capacidade de aumento das cargas de convés da plataforma PBXIII. A validação anterior é dividida em várias etapas:

a) A primeira aproximação do deslocamento foi obtida através da consulta a empresas do setor *offshore* (PETROBRÁS e ULTRATEC ENGENHARIA S.A). Nesta fase determinou-se o peso dos equipamentos de perfuração existentes e estimou-se o peso dos equipamentos de produção necessários para um sistema de produção de 30000 bopd (tabela 3.3).

A tabela 3.3 mostra as variações nas cargas do convés pela diferença de pesos entre os equipamentos de produção e perfuração. Além destes aumentos, fixa-se o deslocamento mínimo do projeto (24800 t), levando em consideração um fator de segurança.

As variações no aumento das cargas no convés estão na ordem de 33 %, isto pela diferença entre o peso dos equipamentos de produção e perfuração (2000 t) em relação às cargas de convés da plataforma inicial (6000 t) [22].

Tabela 3.3 Deslocamento de projeto.

ITENS	PESO (t)
Deslocamento inicial	22.462.00
Peso sistema produção	+3200.00
Peso sistema perfuração	- 1200.00
DESLOCAMENTO FINAL	24462.00

Ao aumentar as cargas do convés (33%), aumenta-se o peso estrutural da plataforma pelos reforços estruturais dos equipamentos de produção e pela adição de volumes no casco submerso (seção 2.3.3).

A tabela 3.4 dá uma estimativa do peso total do aço da estrutura após a conversão, onde a estimativa dos pesos adicionados pelos reforços e volumes foi consultada na ULTRATEC ENGENHARIA S.A.

Tabela 3.4 Peso estrutural

ESTRUTURA	PESO (t)
Estrutura inicial	6550.00
Reforços estruturais	800.00
Pesos dos volumes adicionados.	800.00
Peso total Aço	8150.00

b) Para determinar se a plataforma permite as variações nas cargas acima citadas, estabeleceremos duas equações: uma em função do deslocamento e a outra em função do KG máximo permissível, ambas baseadas nas tabelas 3.5 e 3.6.

Tabela 3.5 Carregamento total após a conversão

OUTRAS CARGAS	PESO (t)
Cargas fixas	3420.00
Cargas variáveis	X
Amarras no paiol	250.00
Componente vertical da amarração	750.00
Lastro	Y
Peso estrutural	8150.00
Deslocamento Total (Δ_{tot})	24.800.00

Tabela 3.6 KG máximo permissível.

ITENS	PESO TOTAL (t)	KG (m)
Peso estrutural	8150.00	19.05
Cargas fixas	3420.00	36.70
Cargas variáveis	X	40.30
Amarras no Paiol	250.0	14.10
Componente vertical da amarração	750.00	8.10
Lastro	Y	4.83
Deslocamento total (Δ_{tot})	24800.00	18.40

Os valores do KG máximo para as diferentes cargas foram obtidos através do relatório de estabilidade da plataforma PBXIII [22].

Da tabela 3.5 :

$$CF+X+AP+AT+Y+PE = \Delta_{tot}$$

(3.1).

Onde:

CF = Peso das cargas fixas

AP = Peso das amarras no paiol.

AT = Componente vertical da amarração.

PE = Peso estrutural da plataforma.

Δ_{tot} = Deslocamento total.

X = Incógnita das cargas variáveis.

Y = Incógnita do lastro.

Da tabela 3.6

$$CF(37.70)+X(40.30)+AP(14.10)+AT(8.10)+Y(4.83)+PE(19.05)=\Delta_{tot}(18.40). \quad (3.2)$$

c) Resolvendo-se as equações 3.1 e 3.2, determinou-se a capacidade das cargas variáveis (X) e lastro (Y), permitida pela plataforma PBXIII.

Cargas variáveis	3038.0 t
------------------	----------

Lastro	9192.0 t
--------	----------

Segundo o relatório de estabilidade [22], os valores anteriores do lastro e das cargas variáveis estão entre os limites operacionais da plataforma PBXIII. Isto é, pode-se aumentar as cargas do convés e redistribuir volumes a fim de garantir as condições de estabilidade inicial.

Sendo que o aumento das cargas no convés não é um fator limitante para o modelo S24800, verifica-se a quantidade de área disponível para distribuir os equipamentos de produção.

Levando-se em consideração a área do convés da plataformas PBXIII (55 m x 65 m), a área disponível para arranjar os equipamentos de produção é de 1200 m².

3.3 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS PARA O SISTEMA DE PRODUÇÃO

Uma vez selecionada a plataforma e verificados os parâmetros das cargas do convés e área disponível, consulta-se uma série de arranjos padrões estipulados nas normas API (*American Petroleum Institute*) [13], para distribuir os equipamentos de produção.

Retornando à filosofia proposta na seção 2.3.2 tem-se:

a) As acomodações devem situar-se avante e sempre que possível acima do convés. Além disso, deve-se evitar dispô-las perto dos equipamentos de produção, onde encontram-se gases tóxicos, fumaças e ruídos.

Pelo fato das acomodações conterem materiais combustíveis, estas deverão estar isoladas das áreas de produção. Os sistemas, tais como geração elétrica, ar condicionado e plantas de tratamento, podem estar situados perto desta área.

b) As cabeças de poços deverão estar localizadas em áreas de fácil acesso para facilitar as operações de completação. Estas áreas devem estar separadas de fontes de ignição, combustível ou objetos estranhos.

As altas pressões encontradas nestas áreas são difíceis de serem controladas e exigem, além da proteção do pessoal, uma prioridade na proteção dessa área.

c) A área de processos é destinada aos equipamentos de produção, os quais, devido a quantidade de hidrocarbonetos, deverão estar localizados em áreas abertas, protegidos de qualquer fonte de ignição.

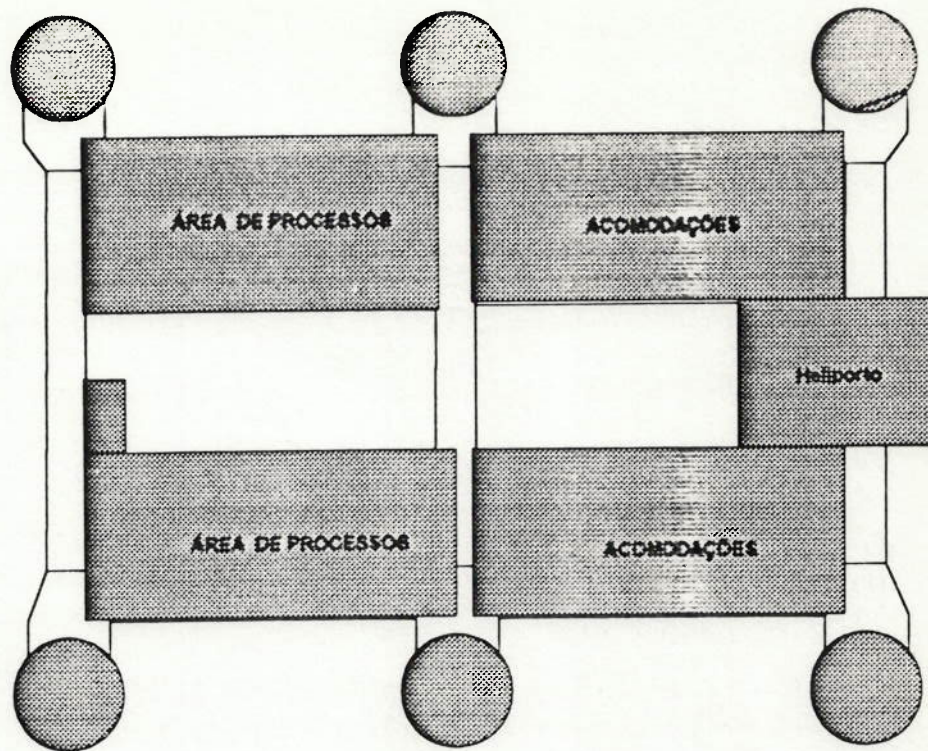
d) Os equipamentos localizados nesta área (área de ignição) são considerados como fontes potenciais de ignição (motores e equipamentos elétricos).

Deve-se evitar arranjar esta área perto de fontes de combustível, gases e áreas de armazém, embora seja permitida esta área ficar perto da área destinada às maquinarias.

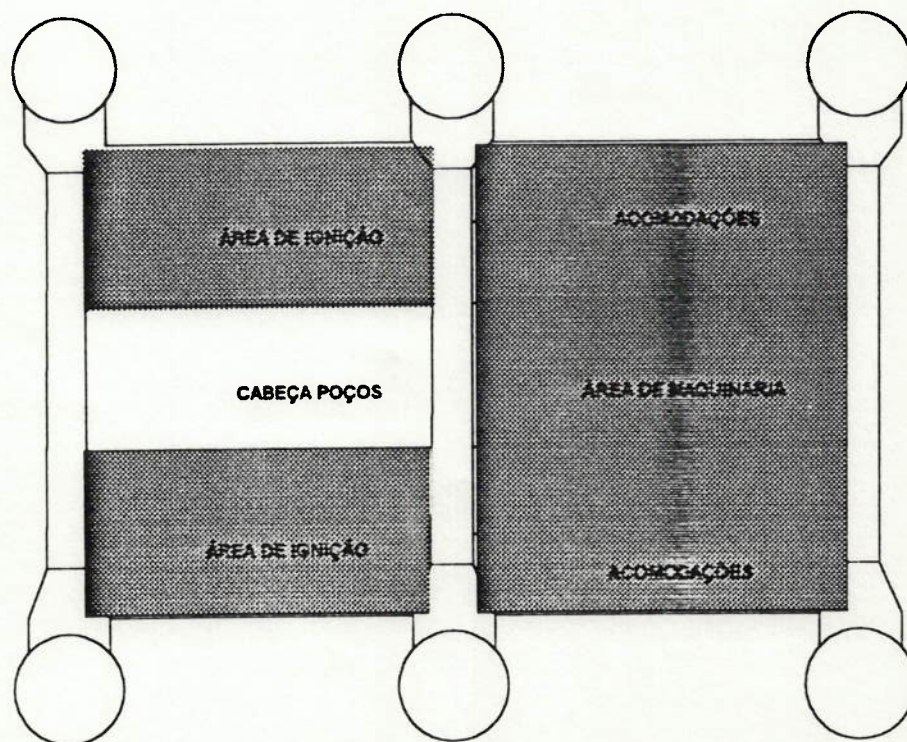
e) As maquinarias são consideradas como fontes potenciais de ignição e combustível, por isso esta área deverá ser afastada ou isolada das áreas de trabalho, armazém de petróleo e acomodações.

Numa primeira avaliação da plataforma original, as principais modificações da figura 3.2 em relação a figura 3.3c serão nas áreas de processos, cabeça de poço e área de ignição .

As outras áreas, tais como área de acomodação e maquinaria podem sofrer pequenas modificações na medida em que não satisfaçam os requisitos do projeto de conversão. A figura 3.3c ilustra o arranjo final da PBXIII após a conversão.



a) CONVÉS SUPERIOR



b) CONVÉS INFERIOR

Figura 3.3 Distribuição das áreas no convés

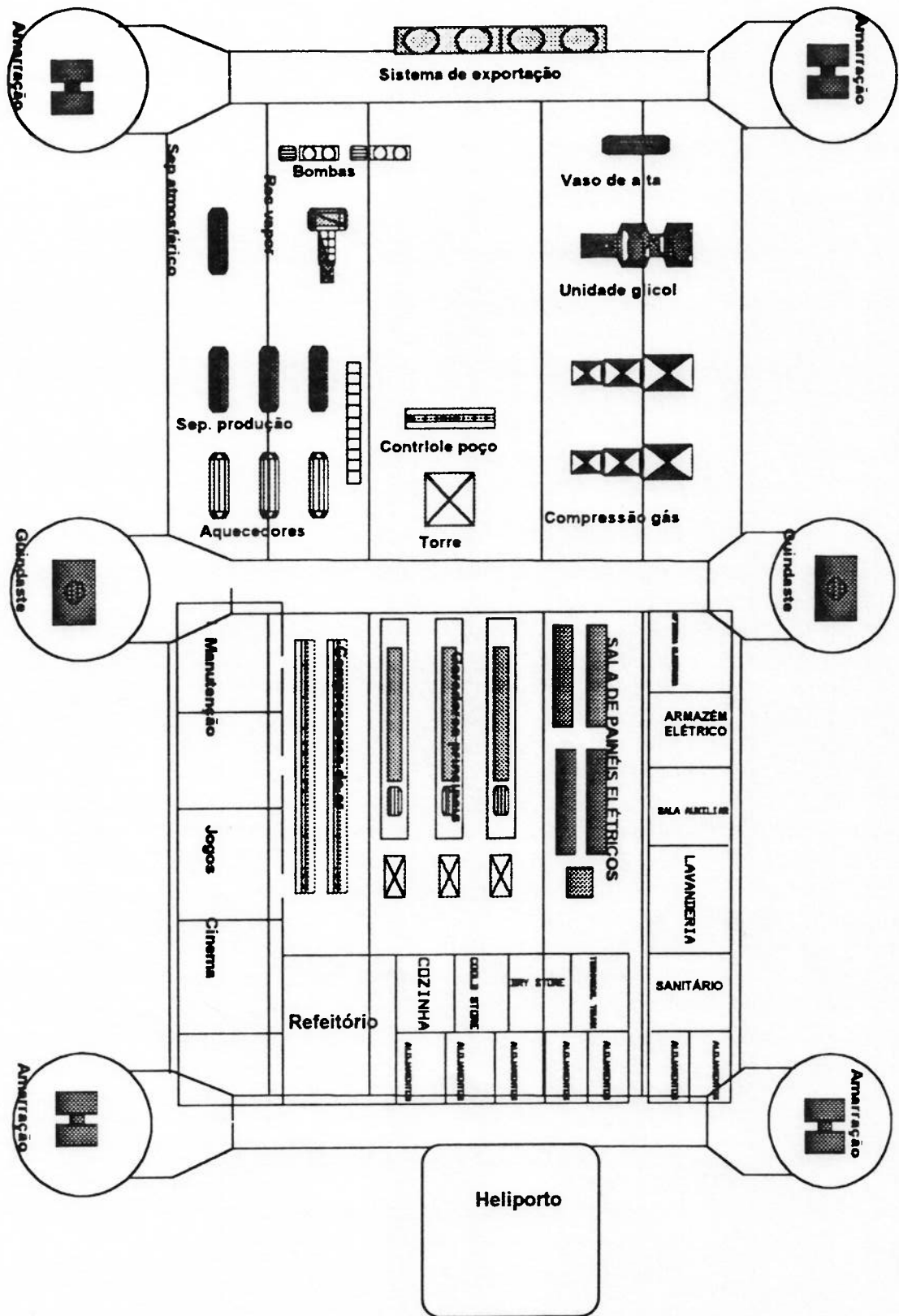


Figura 3.3c Arranjo final PBXIII após a conversão

3.4 DIMENSÕES PRINCIPAIS E ESTABILIDADE INICIAL

Nesta etapa, a partir da seleção da plataforma e levando-se em consideração os requisitos do armador, determinam-se as dimensões preliminares da plataforma a ser convertida com o auxílio de uma filosofia de parametrização. A utilidade prática desta filosofia de parametrização está em gerar uma família de plataformas que satisfaça os critérios de estabilidade e comportamento hidrodinâmico para diferentes deslocamentos, respeitando as condições mínimas de estabilidade necessárias para garantir o aumento das cargas no convés (equações 2.2a e 2.4).

Existem diferentes maneiras, nas quais baseia-se a filosofia de parametrização:

- a) Período natural de arfagem e relação de volumes constante (TH e RVs).
- b) Período natural de arfagem e metacentro constante (TH e KM).
- c) Período natural de arfagem e altura metacêntrica constante (TH e GM).

A filosofia tratada na seção 2.3.3 refere-se à parametrização do período natural de arfagem, mantendo a relação de volumes do casco submerso constante.

As variáveis parametrizadas são:

Deslocamento da plataforma.
Diâmetro das colunas.
Calado de operação.
Altura do tubulão.
Diâmetro dos *blisters*.
Comprimento total dos *blisters*.
Comprimento dos *sponsons*.
Boca dos *sponsons*.
Período natural de arfagem.

Nesta etapa do projeto foi utilizado o programa FORMAS (Anexo A), para determinar as dimensões principais das possíveis famílias de plataformas com base na metodologia ilustrada na figura 2.8.

Os seguintes parâmetros foram fixados como dados de entrada do programa FORMAS:

- a) Período natural de arfagem (TH) em 21.6 s e calado de operação de 21.6 m, para garantir pelo menos o mesmo comportamento em ondas da plataforma antes da conversão.
- b) Os *sponsons* apresentam a mesma altura do tubulão (6.1 m).
- c) Ângulo de distribuição do *blister* em torno da coluna em 360°.
- d) Comprimento dos *blisters* em 12 m.

Os resultados obtidos na parametrização são apresentados na tabela 3.7. As formas do casco submerso são simples nesta primeira etapa do projeto e podem ser modificadas respeitando-se as relações dos volumes (RVs) abaixo citadas.

Tabela 3.7 Dimensões parametrizadas (m)

Δ_{tot}	Φ_b	Φ_c	ht	bt	b_2	Ls	KM	GM	RVs
24800	9,6	9,4	6,1	22,22	22,28	8,29	19,86	2,0	2,65
25300	9,7	9,4	6,1	24,34	24,42	8,29	19,84	2,0	2,69
24800	9,6	9,4	6,1	20,76	20,76	10,08	19,86	2,0	2,65
29500	10,5	9,4	6,1	31,06	31,14	13,67	19,76	1,96	3,03
29600	10,5	9,4	6,1	31,35	30,89	13,67	19,7	1,90	3,04
30000	10,6	9,4	6,1	32,32	32,72	13,67	19,78	1,98	3,06
30100	10,6	9,4	6,1	32,61	32,47	13,67	19,72	1,92	3,07
30600	10,7	9,4	6,1	33,88	34,08	13,67	19,74	1,94	3,11
30700	10,7	9,4	6,1	34,17	33,82	13,67	19,69	1,89	3,12
25200	9,7	9,4	6,1	18,74	19,07	17,25	19,91	2,11	2,68
25300	9,7	9,4	6,1	18,97	18,88	17,25	19,84	2,04	2,69
30000	10,6	9,4	6,1	27,15	27,26	19,04	19,78	1,98	3,06
30100	10,6	9,4	6,1	27,36	27,09	19,04	19,72	1,92	3,07
30500	10,7	9,4	6,1	28,06	28,4	19,04	19,8	2,0	3,09
30600	10,7	9,4	6,1	28,27	28,22	19,04	19,74	1,94	3,11
30700	10,7	9,4	6,1	28,48	28,04	19,04	19,69	1,89	3,12

A tabela 3.7 mostra:

- Δ_{tot} = Deslocamento total (t).
 Φ_b = Diâmetro do *blister* para ângulos a 360° .
 Φ_c = Diâmetro da coluna.
 h_t = Altura do tubulão.
 b_t = Boca tubulão por equação de deslocamento 2.2a.
 b_2 = Boca tubulão por equação do movimento 2.4.
 L_s = Comprimento dos *sponsons*.
 KM = Altura do metacentro.
 GM = Estabilidade inicial.
 RVs = Relação Volume tubulão / Volume coluna.

Pelo fato de se ter fixado os dados de entrada do programa FORMAS, os dados decorrentes da parametrização, GM e RVs , são constantes para todos os deslocamentos. Os valores anteriores de GM e RVs apresentados nesta parametrização não devem ser tomados como definitivos e podem nos seguintes ciclos do projeto, serem modificados já que os critérios da estabilidade inicial da ABS só exigem que o valor do GM seja positivo (tabela 2.4).

A figura 3.4 ilustra as formas do casco submerso conforme os dados apresentados na tabela 3.7, onde a boca do tubulão é a soma da boca do tubulão da plataforma inicial mais as bocas dos *sponsons* em ambos os lados (figura 3.4).

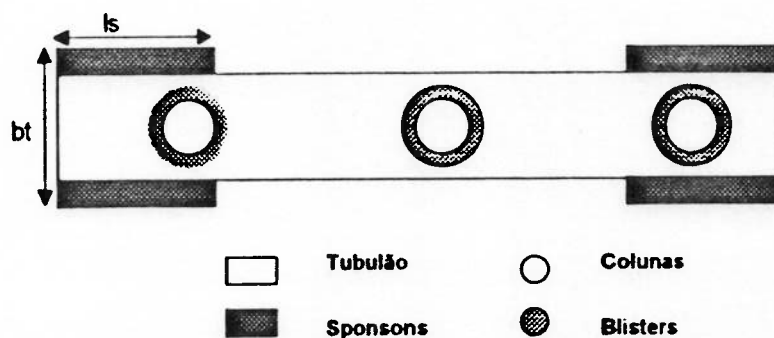
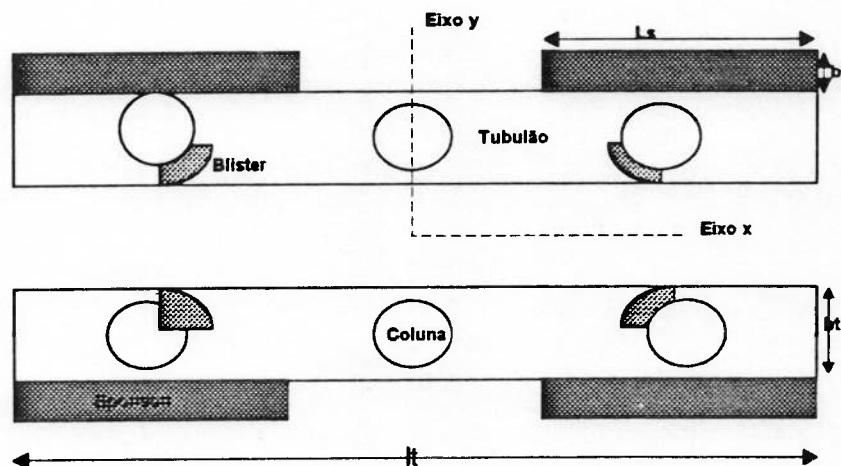


Figura 3.4 Formas do casco submerso obtidas pelo programa FORMAS.

Levando-se em consideração os diferentes casos estudados para distribuir os volumes do casco submerso na seção 2.3.5, a figura 3.5 mostra as modificações feitas no casco submerso em relação à figura 3.4, respeitando a relação RVs, pelo fato do modelo descrito na figura 3.5 apresentar melhor comportamento em ondas do que o modelo descrito na figura 3.4 (seção 2.3.5).



3.5 Formas do casco submerso para análise.

Uma vez distribuídos e determinadas as formas do casco submerso para o modelo S24800, deve-se realizar um estudo do comportamento em ondas dos modelos PBXIII e S24800, para determinar as variações na amplitude significativa da resposta em arfagem $Z^{1/3}$.

3.5 COMPORTAMENTO EM ONDAS

Dando prosseguimento à espiral de projeto de conversão apresentada na seção 2.3.1, a presente seção avalia a aplicação de técnicas simples para o cálculo de comportamento no mar dos modelos de plataformas semi-submersíveis a serem avaliados.

Julga-se que tais técnicas são úteis para serem aplicadas nas etapas iniciais do projeto de conversão, facilitando a avaliação de um grande número de modelos, no entanto, é de se esperar que nas fases mais avançadas do projeto de conversão as avaliações devem ser validadas utilizando algoritmos de cálculos mais avançados.

Numa primeira aproximação despreza-se o amortecimento potencial e os efeitos hidrodinâmicos dos contraventamentos.

Assim sendo, procede-se a avaliação do comportamento em ondas da plataforma (PBXIII) e do modelo S24800, onde o modelo S24800 foi selecionado da tabela 3.7 por ter o deslocamento de projeto fixado na tabela 3.5.

A tabela 3.8 mostra as dimensões do modelo S24800 e PBXIII, ilustrados na figura 3.5 e 3.1 respectivamente.

Tabela 3.8 Dimensões dos modelos S24800 e PBXIII

ITENS	MODELO	MODELO
Deslocamento (t)	22462	24800
Tipo	PBXIII	S24800
lt (m)	92.0	92.0
bt (m)	14.0	14.0
ls (m)	não há	19.52
bs (m)	não há	3.5
Número total de <i>blisters</i>	não há	4
$\langle b$ colunas externas	não há	45°
$\langle b$ colunas internas	não há	não há
Raio <i>blister</i> colunas externas	não há	5.785
Raio <i>blister</i> colunas internas	não há	não há
Comprimento dos <i>blister</i> (m)	não há	12.0
Área de flutuação total (m ²)	416.3	434.29
Período de arfagem (s)	21.6	21.6
Calado de operação (m)	21.6	21.6

Onde:

ls = Comprimento dos *sponsons*.

bs = Boca dos *sponsons*.

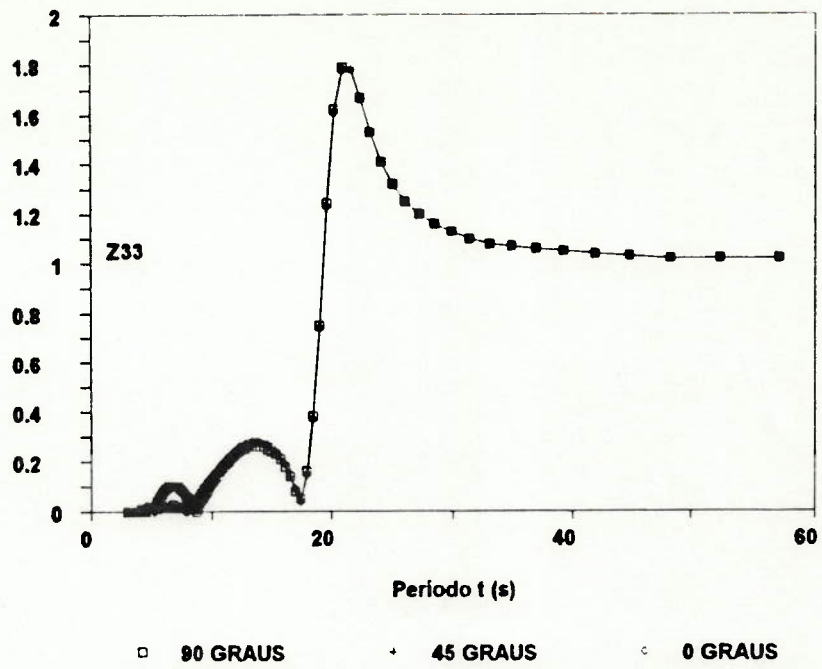
bt = Boca do tubo.

lt = Comprimento total.

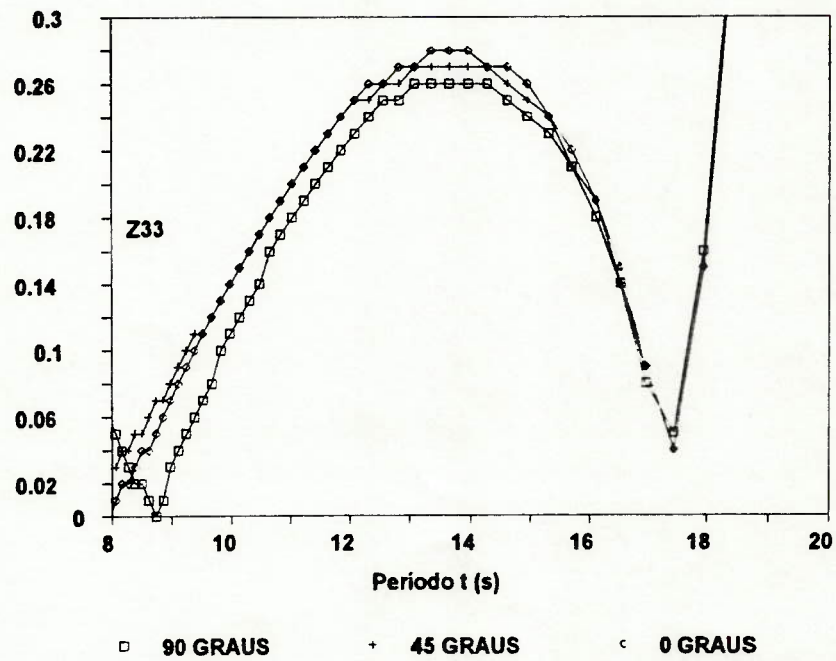
$\langle b$ = Ângulo dos *blisters*.

3.5.1 COMPORTAMENTO EM ONDAS DOS MODELOS PBXIII E S24800.

Para determinar o comportamento em ondas dos modelos acima citados, os seguintes parâmetros devem ser assumidos:



a)



b)

Figura 3.7 Resposta em arfagem S24800

Realizando o cruzamento da resposta em arfagem com o espectro de mar característico da zona de operação (rotina do programa ESPEKTRO), determina-se a amplitude significativa do movimento de arfagem, mostrado na tabela 3.9.

Tabela 3.9 Amplitude significativa dos modelos S24800 e PBXIII

Modelo	0 °	45°	90°
PBXIII	2.97 m	2.87 m	2.86 m
S24800	2.37 m	2.36 m	2.27 m

A tabela 3.9 mostra a diferença na amplitude significativa do movimento de arfagem do modelo S24800 em relação ao modelo PBXIII, pelo fato de ter maiores volumes distribuídos de acordo com seção 2.3.5.

A amplitude significativa do movimento de arfagem foi minimizada em 20%, embora o GM inicial tenha sido reduzido de 2.35 m para 2.0 m. (tabelas 3.2 e 3.7).

Retornando a figura 2.13 na qual ilustra-se a força total de arfagem atuante na plataforma e suas componentes principais (força na coluna e força no tubulão), pode-se pensar na diminuição da força total atuante na plataforma a fim de minimizar a resposta de arfagem. Para alcançar este objetivo os seguintes parâmetros devem ser lembrados.

a) Para altas frequências (períodos baixos), o período de cancelamento de forças T_0 , depende, além da relação volume da coluna - volume do tubulão, da distribuição dos volumes submersos em relação aos

eixos principais (X Y). Isto porque para altas frequências, a parcela da força $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ nas equações 2.11, torna-se representativa nestes níveis de frequência.

b) Para baixas frequências (períodos altos), o período de cancelamento de forças T_a , depende da relação volume da coluna / volume do tubulão, sendo a parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$, nestas faixas de frequências, desprezível.

c) Nos períodos compreendidos até o ponto de cancelamento de forças T_a , a componente da força determinante na força total da plataforma é a força no tubulão.

Conclui-se que para minimizar a força total atuante nas faixas de frequências do espectro do mar característico da zona de operação (períodos menores do que T_a), deve-se aumentar a força na coluna e diminuir a força no tubulão, a fim de diminuir a força total de arfagem na plataforma. Isto pode ser feito de duas maneiras:

a) Distribuindo volumes submersos e mantendo a RVs constante, como foi estipulado na seção 2.3.5.

b) Aumentando as dimensões da coluna, variando a relação RVs. Este aumento deve ser feito cuidadosamente para que o período natural de arfagem não entre nas faixas do espectro do mar de maior energia.

O aumento na massa adicionada pelas modificações feitas nos *sponsons* segundo a figura 3.8, aumenta o período natural de arfagem (equação 2.3), sem variar a relação RVs (relação volumes do tubulão / volumes da coluna), isto é, afasta-se o período natural de arfagem (TH) das faixas do espectro do mar com maior energia (figura 3.12c), com pequenas variações do período de cancelamento de forças T_a (figura 2.11).

A tabela 3.10 mostra a amplitude significativa do movimento de arfagem ($Z^{1/3}$) do modelo S24800, para as diferentes modificações feitas na seção transversal dos *sponsons*.

Tabela 3.10 Resposta $Z^{1/3}$ para modificações nos *sponsons*.

Modelo	bs(m)	ls(m)	hs(m)	TH(s)	Ta(s)	90°(m)	0°(m)
S24800							
Caso 1	7.0	18.5	3.5	21.60	18.65	2.20	2.47
Caso 2	7.0	37.0	1.75	21.66	18.65	2.20	2.44
Caso 3	14.0	18.5	1.50	21.70	18.65	2.0	2.45

Observa-se, na tabela 3.10, uma melhoria na resposta quando os *sponsons* tendem a ser uma aleta (caso 3). Por conseguinte, é possível minimizar mais a amplitude significativa do movimento de arfagem, adicionando aletas laterais nos *sponsons*.

As aletas laterais são eficientes, já que aumentam a massa adicional da plataforma adicionando um baixo peso.

A resposta para ondas a 0° pode ser corrigida afastando os *sponsons* um pouco mais do centro da plataforma em relação à figura 3.5, ou redistribuindo volumes destes *sponsons* nas partes externas do tubulão.

As colunas podem aumentar a massa adicional do sistema e contribuir para minimizar o movimento de arfagem quando adiciona-se um anel em volta das colunas abaixo da linha d'água para aumentar a massa adicionada sem variar a relação RVs acima citada.

O procedimento de análise ilustrado na figura 2.15 considera a massa adicional somente pelos elementos de tubulões, desprezando a massa adicional decorrente das configurações dos *blisters*.

A estabilidade é um parâmetro que serve como base para avaliar a segurança de uma unidade flutuante contra o emborcamento. A fim de avaliar a estabilidade do modelo S24800, assume-se que:

O cálculo da estabilidade inicial do modelo S24800 ($GM = 2.0$ m) é feito na parametrização (tabela 3.7), por ser decorrente das formas do casco submerso. Não se deve esquecer que os *blisters* foram distribuídos internamente nas colunas (caso 2 da seção 2.3.5). Para distribuições externas dos blister o valor da estabilidade inicial para o modelo S24800 é 2.20 m (caso 1 da seção 2.3.5).

A redução anterior no GM do modelo S24800 quando comparada com o modelo PBXIII é decorrente da filosofia de parametrização utilizada, pelo fato de manter as RVs constante para os diferentes deslocamentos.

Um "pequeno" aumento na área de flutuação do modelo S24800 é benéfico, porque além de diminuir a força total sobre a plataforma (seção 2.3.5) nas faixas do espectro de mar de maior energia, aumenta o valor do GM (aumento de BM na equação 2.6).

Para ângulos maiores a 10° o parâmetro de controle é o braço restaurador GZ (figura 2.9b). A fim de obter precisão na estimativa do GZ determinam-se as curvas cruzadas de estabilidade utilizando um programa do tipo CAD (*Computed Aided Desing*), para modelagem de sólidos.

Utilizando planos de cortes a diferentes ângulos de inclinação (10, 15, 20 e 25 graus), para modelar o casco submerso, obtém-se os parâmetros de estabilidade ilustrados na figura 2.9b para os diferentes calados de operação. Assim sendo, desenham-se desta forma as curvas cruzadas de estabilidade (figuras 3.9b, 3.9c e 3.9d) em relação aos eixos ilustrados na figura 3.9a.

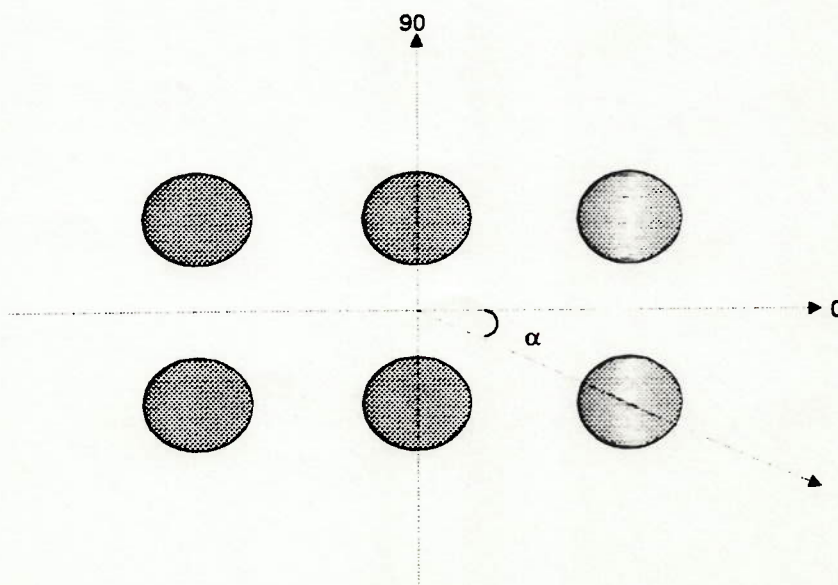


Fig 3.9a Eixos principais

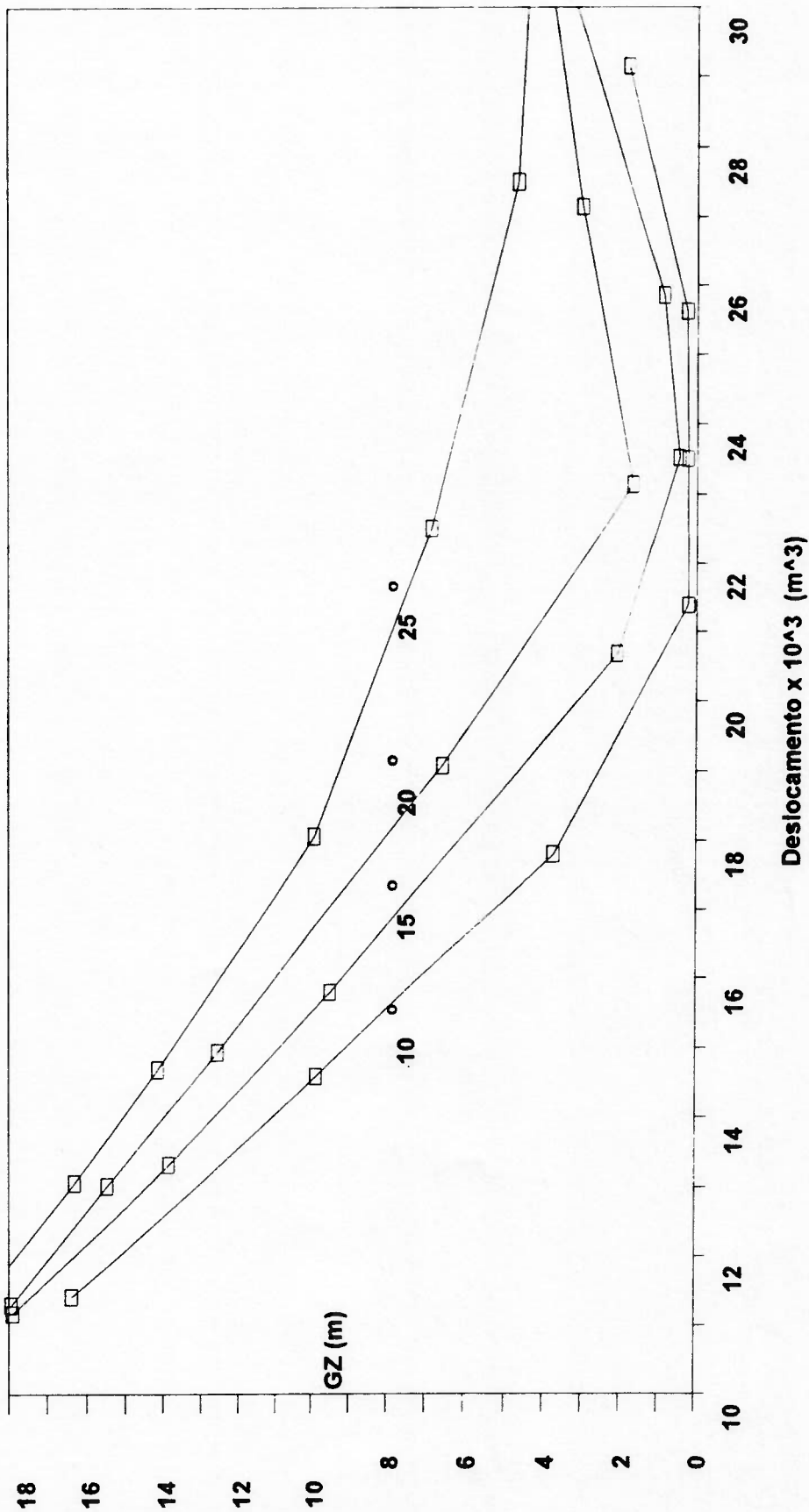


Figura 3.9c Curvas de estabilidade para $\alpha = 90$

A figura 3.9e ilustra a curva de braços adrizantes (GZ) para o deslocamento de 24800 toneladas ($\alpha=22.31$).

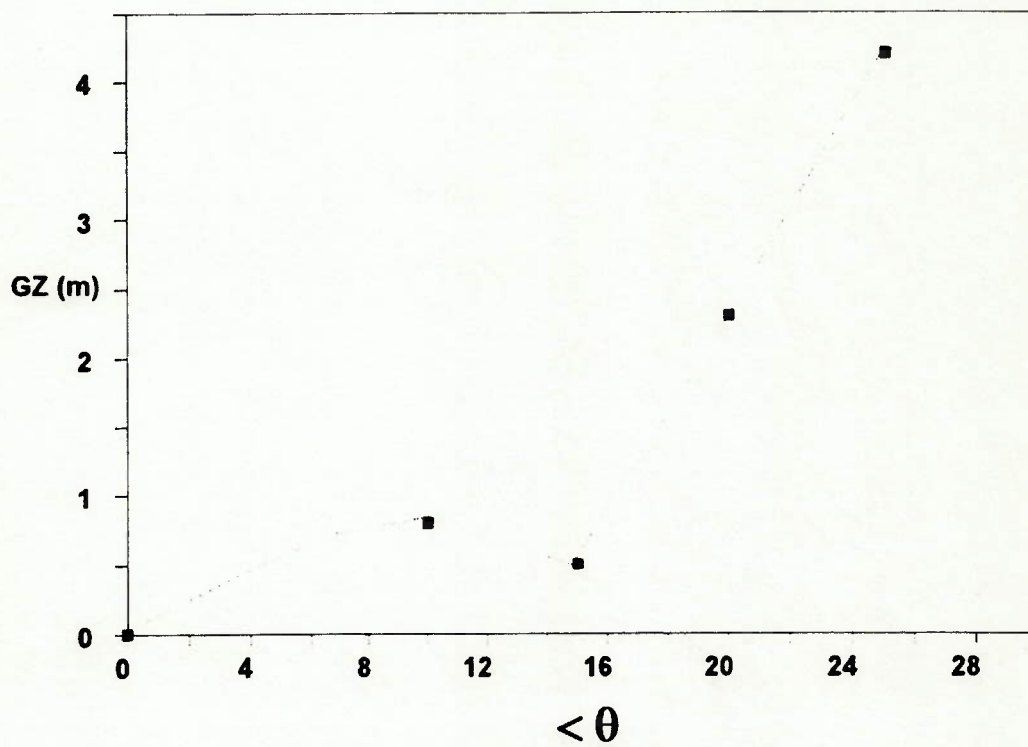


Figura 3.9e Curvas de estabilidade do modelo S24800

3.6 ANÁLISE ESTRUTURAL

O propósito fundamental do projeto estrutural está em projetar uma estrutura econômica e segura. A segurança nas estruturas depende de um grande número de fatores, tais como: tipo de estrutura, vida residual, probabilidade de ocorrência de falhas, métodos de inspeção para controle de qualidade e tipo de inspeção, entre outras.

O termo falha estrutural nem sempre quer dizer colapso total. As deformações excessivas da estrutura podem impedir sua funcionalidade adequada e constituem falhas tão serias como o colapso. O colapso numa estrutura ocorre quando falha alguns dos membros estruturais por: força cortante, flexão, flambagem, entre outras.

Uns dos principais elementos estruturais utilizados em estruturas reticuladas, são os elementos de vigas . A seleção de um perfil para ser utilizado como elemento de viga é baseado na seleção do módulo resistente, que é a capacidade que o elemento apresenta para resistir ao momento fletor máximo sem que se exceda o esforço permissível em suas fibras. Além dos elementos de vigas utilizados em estruturas reticuladas, existem os elementos de treliças que são membros simples submetidos a tensões induzidas por forças que tratam de esticá-lo. Estes membros de treliças são eficientes e econômicos porque utilizam toda a área do material de forma efetiva, trabalhando com um esforço uniforme.

A seleção destes perfis como elementos estruturais, tem-se convertido num problema de economia de material e de capacidade de carga. Com os diversos tipos de aços disponíveis no mercado, a seleção do mais

econômico pode requerer um estudo adicional, dependendo das condições de carregamento e solicitação dos esforços no membro estrutural. O material utilizado nos membros estruturais da plataforma PBXIII é o aço H-36, com resistência ao escoamento na ordem de 2400 kg/cm^2 .

Esta metodologia visa conhecer as variações dos esforços nas diferentes partes da estrutura antes e após a conversão da plataforma e por conseguinte será dividida em várias etapas.

- a) Verificação do módulo resistente segundo normas ABS
- b) Cálculo das *split forces* para os modelos PBXIII e S24800.
- c) Análise global da estrutura antes e após a conversão.
- d) Análise das seções transversais nos tubulões após a conversão.

3.6.1 VERIFICAÇÃO DO MÓDULO RESISTENTE SEGUNDO NORMAS ABS

A estrutura da plataforma PBXIII está composta por dois tipos de perfis estruturais: perfis tipo L para vãos e cavernas e perfis tipo bulbo para elementos leves. Na análise destes membros estruturais deverá estar associada a largura da chapa colaborante. Entende-se por chapa colaborante a largura da chapa do painel que associada ao perfil e calculada pela teoria simples de viga, apresenta os mesmos valores das tensões do painel calculadas por outro método mais avançado.

O esforço permissível de flexão, seja a tensão ou compressão, deve ser tomado como uma fração da resistência ao escoamento do material. Neste projeto toma-se como 0.6 vezes a resistência ao escoamento a fim de garantir os esforços induzidos pela tensão axial.

Na tabela 3.11 apresentam-se as características dos perfis do convés principal e do tubulão da plataforma PBXIII, associados com a largura da chapa colaborante.

Tabela 3.11 Perfis estruturais da plataforma PBXIII

Elemento	Alma (cm)	Base (cm)	Chapa colaborante	SM" (cm ³)
Long. leve convés	16x0.7	2.20x1.47	75x1.2	110.05
Vaus do convés	55x1.2	28.0x1.4	250x1.2	3242
Long. leve tubulão	20x1.1	2.80x1.96	58 0x1.4	273.84
Cavernas no tubulão	75x1.4	22.5x1.4	170x1.4	4609.00

Onde

SM" = Módulo resistente no flange do perfil.

O valor da chapa colaborante foi obtido segundo [10].

Os enrijecedores e os grandes elementos estruturais, deverão ser dimensionados de acordo com as regras e carregamentos estipulados nas MODU's 91[16].

Para elementos leves, associados com a largura da chapa colaborante, o módulo resistente não deverá ser menor do que [16]:

$$SM = fchs l^2 \text{cm}^3 (\text{in}^3)$$

Onde:

SM = Módulo resistente solicitado pelas normas $\text{cm}^3 (\text{in}^3)$.

f = 7.8 (0.0041)

c = 0.6 para elementos leves fora de tanques
1.0 para elementos leves no interior de tanques.

s = Espaçamento entre elementos leves (m.) (ft)

l = Distância entre apoios do elementos (m.) (ft).

h = Altura coluna d'água de projeto (m.) (ft)
Para áreas de produção 1.84 m.
Para áreas de completação 1.24

Para elementos pesados, associados com a largura da chapa colaborante, o módulo resistente não deverá ser menor que:

$$SM = fchbl^2 \text{cm}^3 (\text{in}^3)$$

Onde:

- f = 4.74 (0.0025)
 c = 1.0 para elementos fora de tanques
 1.5 para elementos no interior de tanques
 s = Espaçamento entre elementos (m.) (ft)
 l = Distância entre apoios dos elementos (m.) (ft)

Utilizando os critérios acima citados, avalia-se os módulos resistentes do convés da plataforma PBXIII e os resultados são apresentados na tabela 3.12

Tabela 3.12 Módulo resistente segundo regras ABS.

Elemento	f	c	h	s(m)	l(m)	SM(cm ³)	SM"(cm ³)
Long. Leve	7.8	0.6	1.28	0.775	2.5	29.16	118.4
Vaus Convés	7.8	0.6	1.28	2.50	7.750	899.0	2460.0
Viga Caixão	4.74	0.6	1.28	33.5	21.5	56371	103500

Como resultado desta análise, pode-se afirmar que os diferentes perfis estruturais satisfazem o valor mínimo do módulo resistente requerido pelas regras, porém, deve-se proceder uma análise racional da estrutura com suas cargas de projeto, para determinar-se o valor das tensões nos diferentes elementos estruturais.

3.6.2 CÁLCULO DAS SPLIT FORCES PARA O MODELO PBXIII E S24800

Existem forças que tendem a abrir as colunas da plataforma. Estas forças são conhecidas como *split forces* e predominam para determinados comprimentos de onda incidente (figura 3.10).

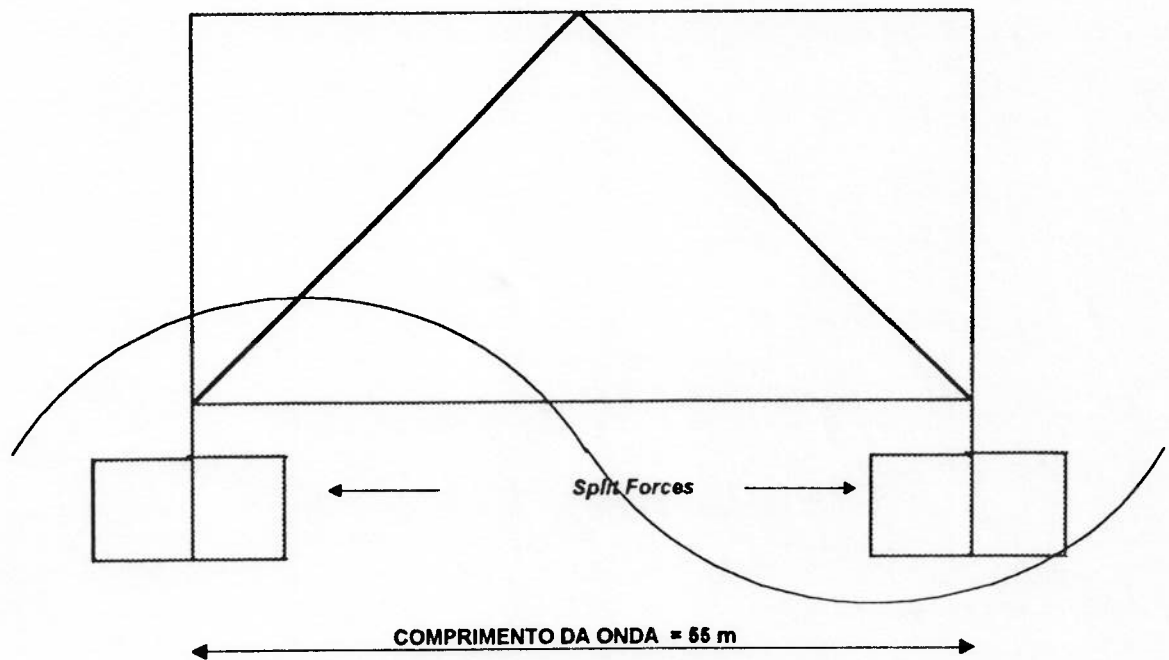


Figura 3.10 *Split forces* numa plataforma s.s

Para o cálculo das *split forces*, os seguintes parâmetros deverão ser assumidos:

- a) Formas do casco submerso, ilustrado na figura 3.5.
- b) Coeficiente de massa adicional calculado de acordo as regras das sociedades classificadoras.
- d) Comprimento da onda em 55 m., distância na qual as *split forces* são predominantes porque tem o mesmo comprimento da boca entre tubulões (figura 3.10).

Utilizando a teoria simples de potencial, determina-se os valores das *split forces*, para os modelos S24800 e PBXIII.

Tabela 3.13 *Split forces* atuantes nos modelos S24800 e PBXIII.

Modelo	Força total (t)	Força no pórtico (t)
PBXIII	9080.0	1135.0
S24800	10032.0	1373.0

Como resultado da tabela 3.13, pode-se concluir que os *sponsons* adicionados nos extremos do modelo S24800 (figura 3.5), aumentam o valor das *split force*, pelo fato de induzir maior massa adicional em relação ao modelo PBXIII (figura 3.1).

Determinando as *split forces* atuantes nos modelos analisados, pode-se realizar uma avaliação global da estrutura utilizando os carregamentos de projeto, tais como: cargas de convés, empuxo e *split forces*, entre outros.

3.6.3 ANÁLISE GLOBAL DA ESTRUTURA ANTES E APÓS A CONVERSÃO

Na análise global, além de substituir a estrutura por outra que lhe simplifique os detalhes, deve-se padronizar os carregamentos a serem considerados. A natureza dinâmica das cargas somente deve ser incluída quando claramente preponderarem como ocorre no estudo de vibrações.

Uma vez estabelecidos os carregamentos de projeto, um modelo de elementos finitos pode ser feito definindo as propriedades de cada um de seus elementos segundo as funções que devem representar (tabela 3.14).

Essa estrutura reduzida denomina-se modelo físico para análise, ou simplesmente modelo físico. Na concepção do modelo físico procura-se esforços globais nos componentes estruturais.

Na análise estrutural do modelo PBXIII e S24800, as seguintes considerações devem ser assumidas:

- a) Despreza-se o peso próprio dos elementos estruturais.
- b) Utiliza-se elementos de viga e treliças
- c) Modela-se a estrutura transversal (tipo pórtico), composta pelos contraventamentos, colunas e vãos (figura 3.11).
- d) Para simular a flutuação do sistema e equilibrar as cargas de convés, consideram-se como forças atuantes na estrutura as cargas de convés, empuxo e split forces, entre outras (figura 3.12).
- e) As tensões nos tubulões não são representativas, pelo fato de nestes aplicarem-se as condições de contorno.

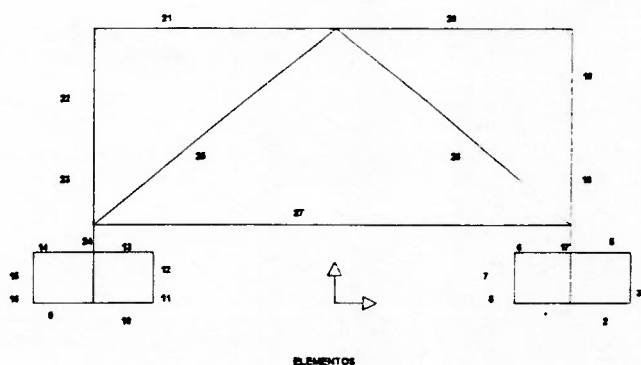


Figura 3.11 Modelo de elementos finitos para análise global

Tabela 3.14 Características dos perfis estruturais

Elemento	At (mm ²)	IT (mm ⁴)	As (mm ²)
1	38724	2.8E09	10500
2	38724	2.8E09	10500
3	38724	2.8E09	10500
4	38724	2.8E09	10500
5	38724	2.8E09	10500
6	38724	2.8E09	10500
7	38724	2.8E09	10500
8	38724	2.8E09	10500
9	38724	2.8E09	10500
10	38724	2.8E09	10500
11	38724	2.8E09	10500
12	38724	2.8E09	10500
13	38724	2.8E09	10500
14	38724	2.8E09	10500
15	38724	2.8E09	10500
16	38724	2.8E09	10500
17	412817	4.18E+13	206716
18	412817	4.18E+13	206716
19	412817	4.18E+13	206716
20	223216	2.07E+13	112000
21	223216	2.07E+13	112000
22	412817	4.18E+13	206716
23	412817	4.18E+13	206716
24	412817	4.18E+13	206716
25	43828,3	2,17E+10	43982,3
26	43828,3	2,17E+10	43982,3
27	43828,3	2,17E+10	43982,3

Onde:

A_t = Área total do perfil associado com a largura de chapa colaborante.

A_s = Área de cisalhamento.

I_T = Momento de inércia de área.

Os carregamentos utilizados na análise global da estrutura são apresentados na tabela 3.15.

Tabela 3.15 Carregamentos de projetos

Modelo	Split forces (t)	Empuxo (t)	.Convés (t)
PBXIII	1135.0	600.0	1200.0
S24800	1373.0	750.0	1500.0

As cargas no convés dos modelos foram calculadas de acordo com as cargas do modelo PBXIII [22] e com o aumento nas cargas pela diferença entre os equipamentos de produção e perfuração no modelo S24800.

Na figura 3.12 ilustra-se a direção e sentido das cargas de projeto, utilizadas na análise global da estrutura.

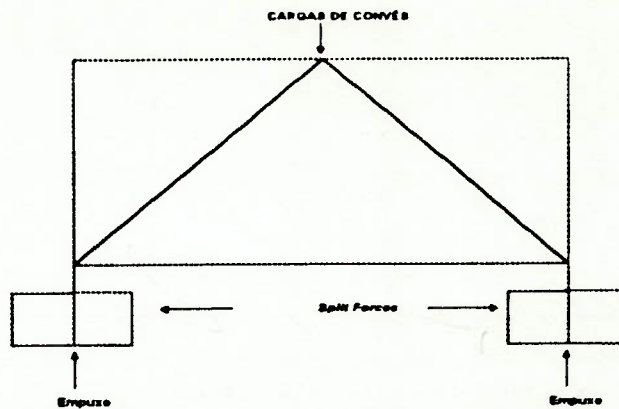


Figura 3.12 Carregamento para análise global

Utilizando o modelo simplificado, para análise (figura 3.11) e os carregamentos de projetos (figura 3.12), obtêm-se os valores dos esforços nos modelos PBXIII e S24800 (figura 3.13 e 3.14).

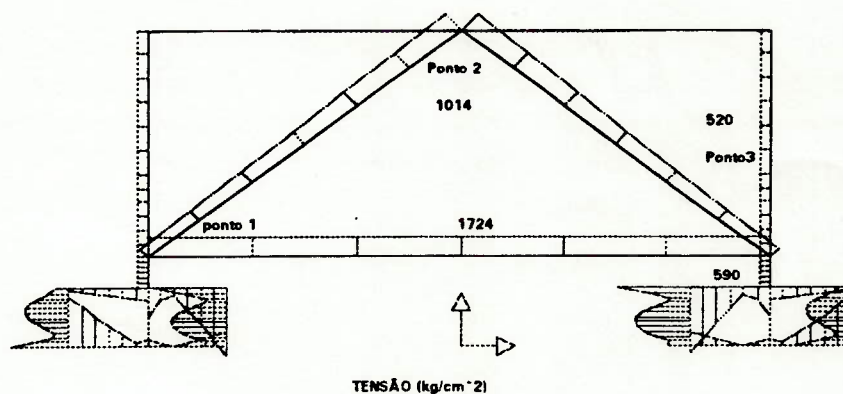


Figura 3.13 Tensões no modelo PBXIII .

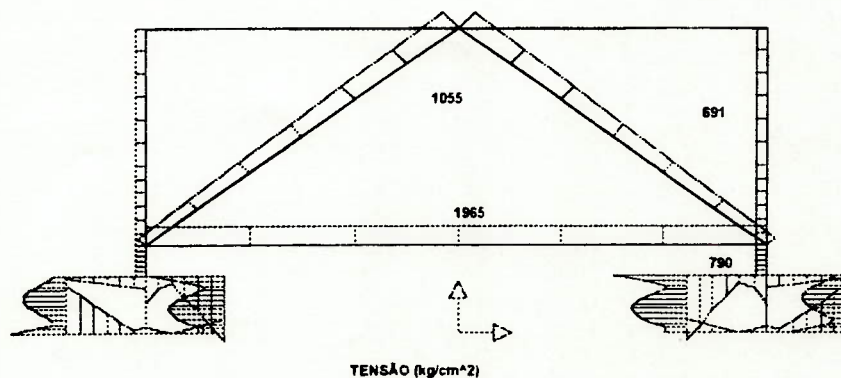


Figura 3.14 Tensões no modelo S24800

Onde as variações nas tensões dos diferentes modelos são:

Modelo	Ponto 1 (kg/cm ²)	Ponto 2 (kg/cm ²)	Ponto 3 (kg/cm ²)
PBXIII	1724.0	1014.0	590.0
S24800	1955.00	1055.0	790.0

O modelo S24800 apresenta um aumento de tensões de 13 % nos contraventamentos em relação ao modelo PBXIII. Sendo os contraventamentos os elementos estruturais submetidos a maiores esforços cíclicos, recomenda-se determinar o valor do maior fator de concentração de tensões dos contraventamentos. Nesta metodologia o fator de concentração de tensões será tomado como a relação entre as tensões obtidas na modelagem dos contraventamentos como elementos de cascas e viga.

No modelo das colunas e contraventamentos, os seguintes parâmetros foram assumidos:

- a) Utilizou-se 820 elementos de cascas
- b) Carregamentos de projetos da tabela 3.15

Os resultados obtido nesta modelagem são apresentados no apêndice 1.

3.6.4 ANÁLISE DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO TUBULÃO NO MODELO S24800

Como foi dito na seção 3.5.1, a figura 3.8 ilustra as possíveis modificações que pode apresentar a seção transversal dos *sponsons*, a fim de minimizar a resposta em arfagem.

Esta análise fixará as dimensões máximas que podem ter as bocas dos sponsons a fim de não comprometer o comportamento estrutural das seções transversais no tubulão.

A figura 3.15 mostra as diferentes seções transversais dos tubulões do modelo S24800 (C1 e C2). Além da análise das seções transversais, os perfis estruturais adicionados nas áreas dos *sponsons* serão sintetizados para garantir menor peso e custo de construção, isto é, escolher o perfil mais leve com módulo resistente para garantir tensões admissíveis nos elementos da seção transversal.

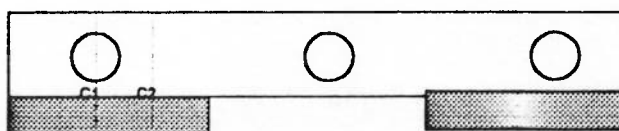


Figura 3.15 Tipos de seções transversais.

Na modelagem destas seções transversais, os seguintes parâmetros são adotados:

- a) Utiliza-se elementos de viga e treliça para modelar a seção transversal.
- b) Despreza-se o peso próprio dos elementos estruturais.
- c) Elementos de mola foram utilizados para simular a interferência dos elementos longitudinais pesados na seção transversal.

Uma vez definido o modelo físico, a descrição das cargas atuantes na estrutura tem um papel importante. Estas cargas podem ser estáticas ou dinâmicas, temporais ou permanentes, ocasionais ou repetitivas,

entre outras. O procedimento convencional tem substituído estas cargas não estáticas por cargas estáticas equivalentes. A figura 3.16 mostra as cargas equivalentes utilizadas na análise das seções transversais dos tubulões.

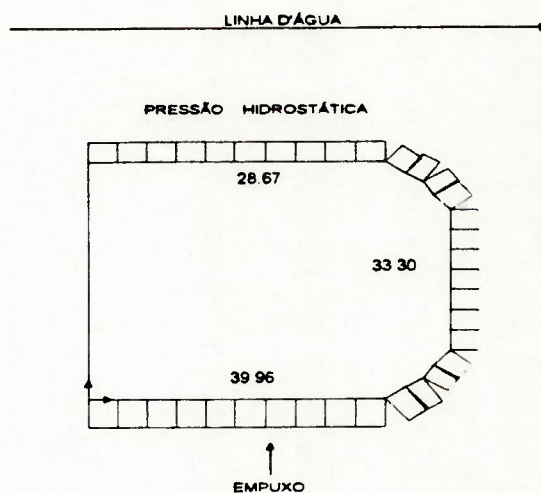


Figura 3.16 Carregamento de projeto (kg/ mm)

3.6.4.1 ANÁLISES DAS CAVERNAS C1

A figura 3.17 mostra o modelo físico utilizado na análise da seção transversal C1. A tabela 3.16 apresenta as características dos diferentes perfis estruturais que compõem a seção transversal, assim como o diagrama de tensões no flange do perfil, sendo apresentado na figura 3.18.

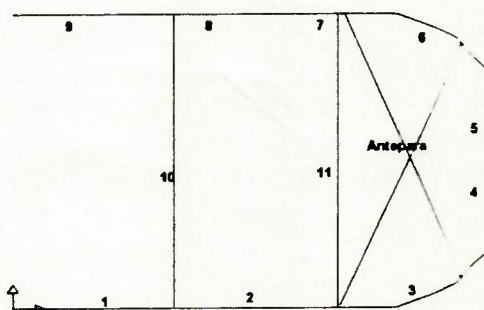


Figura 3.17 Seção transversal C1

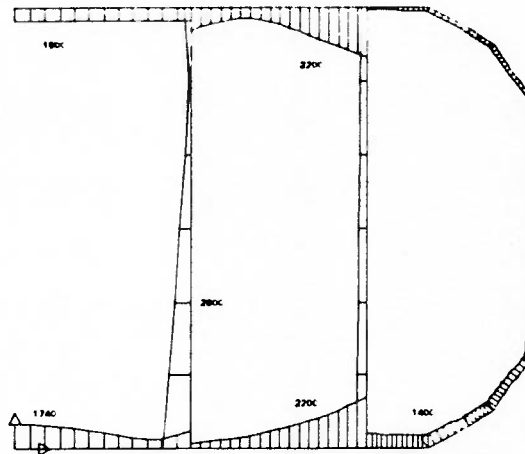


Figura 3.18 Tensões axiais no flange do perfil (kg/cm²).

Tabela 3.16 Características dos perfis estruturais na seção C1

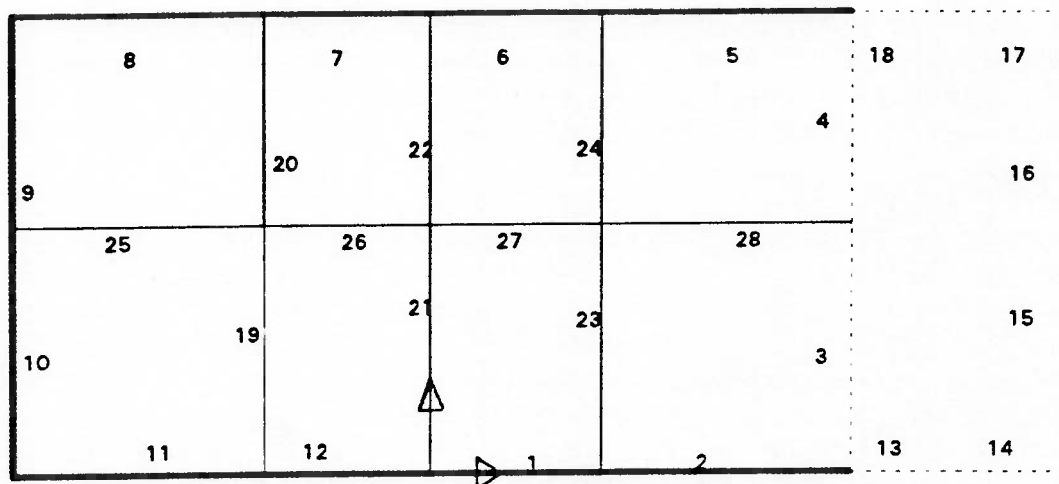
ELEMENTO	At (mm ²)	IT (mm ⁴)	As (mm ²)
1	20650	1.8E09	10500
2	20650	1.8E09	10500
3	20650	1.8E09	10500
4	20650	1.8E09	10500
5	20650	1.8E09	10500
6	20650	1.8E09	10500
7	20650	1.8E09	10500
8	20650	1.8E09	10500
9	20650	1.8E09	10500
10	20650	1.8E09	10500
11	26180	1.8E08	3780

3.6.4.2

CAVERNAS C2

À seção do tipo C2 caberá um tratamento especial. Este tratamento consiste numa síntese entre perfis que satisfaçam o módulo requerido e a escolha será feita dependendo do peso do perfil, a fim de reduzir o custo geral de construção dos *sponsons*.

A tabela 3.17 apresenta as características dos perfis estruturais utilizados no modelo físico. As figuras 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22 apresentam: o modelo de análises, deformada da seção transversal, diagrama de momento fletor e diagrama de tensões no flange do perfil, consecutivamente.



— Estrutura Original
 - - - - - Seção Adicionada

Figura 3.19 Seção transversal C2

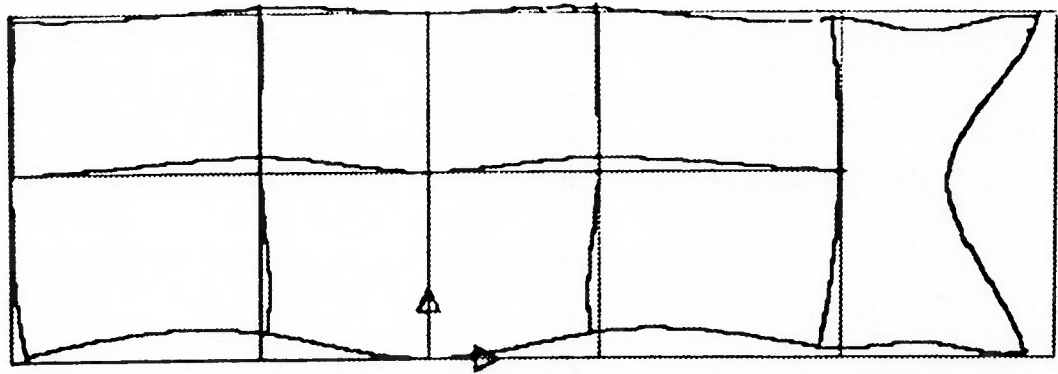


Figura 3.20 Deformada seção C2

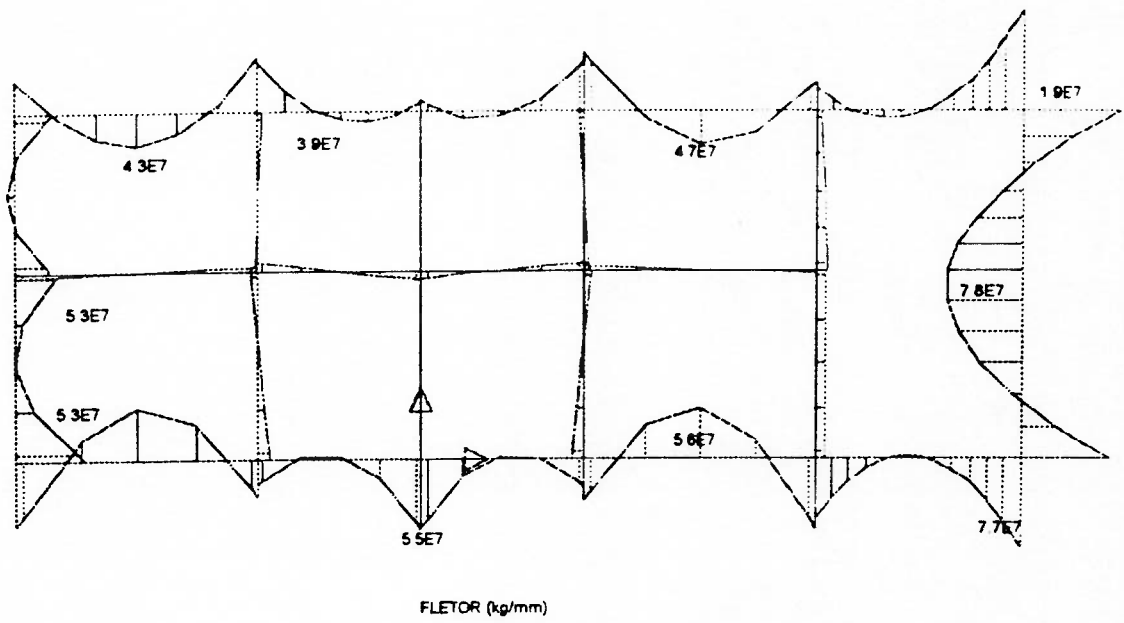


Figura 3.21 Diagrama de momento fletor em C2.

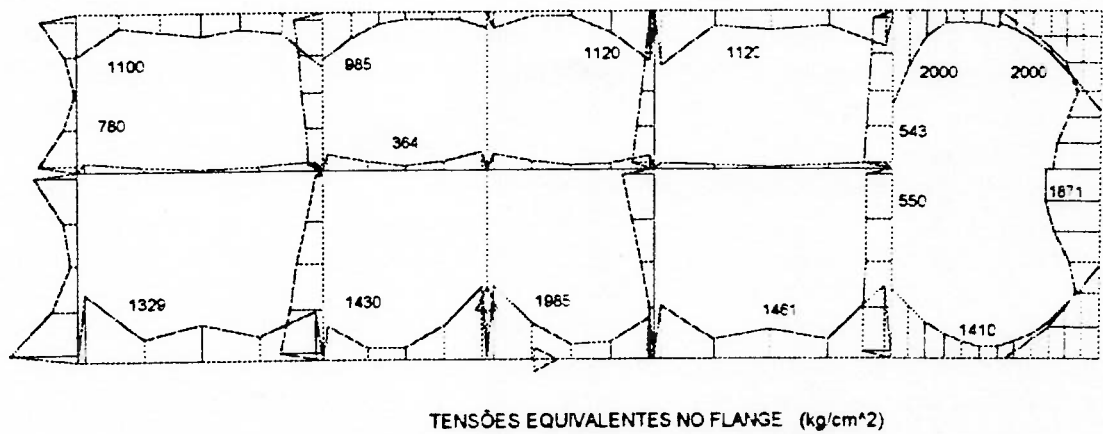


Figura 3.22 Diagrama de tensões em C2

Tabela 3.17 Características dos perfis estruturais na seção C2

ELEMENTO	At (mm ²)	I (mm ⁴)	As (mm ²)	Carga (Kg/mm)
1	38724	2.8E09	10500	39,96
2	38724	2.8E09	10500	39,96
3	38724	2.8E09	10500	0
4	38724	2.8E09	10500	0
5	38724	2.8E09	10500	28,67
6	38724	2.8E09	10500	28,67
7	38724	2.8E09	10500	28,67
8	38724	2.8E09	10500	28,67
9	38724	2.8E09	10500	33,6
10	38724	2.8E09	10500	33,6
11	38724	2.8E09	10500	39,96
12	38724	2.8E09	10500	39,96
13	38724	2.8E09	10500	39,96
14	38724	2.8E09	10500	39,96
15	38724	2.8E09	10500	28,67
16	38724	2.8E09	10500	28,67
17	38724	2.8E09	10500	33,6
18	32046	4.7E08	4810	33,6
19	33824	6.7E08	5600	0
20	33824	6.7E08	5600	0
21	33824	6.7E08	5600	0
22	33824	6.7E08	5600	0
23	33824	6.7E08	5600	0
24	33824	6.7E08	5600	0
25	33824	6.7E08	5600	0
26	33824	6.7E08	5600	0
27	33824	6.7E08	5600	0
28	33824	6.7E08	5600	0

Como resultado das análises anteriores, é demonstrado que as tensões dos elementos estruturais para as bocas dos *sponsons* menores do que 3.5 m, estão dentro do limite permissível (figura 3.18 e 3.22).

No entanto, as tensões podem ser diminuídas, aumentando os módulos resistentes dos perfis pela adição de material na alma ou flange dos

perfis. Para bocas maiores que 3.5 m deve-se diminuir o vau livre da seção adicionada utilizando perfis de apoio, a fim de diminuir o momento fletor máximo sobre o cavernamento e também as tensões nos elementos.

4.0 CONCLUSÕES

Ao desenvolver a metodologia do projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis de perfuração à produção com completação seca, foram obtidas as seguintes conclusões:

1.0 Soluciona-se o aumento das cargas no convés, do ponto de vista de deslocamento e estabilidade, adicionando-se *sponsons* nos tubulões e *blisters* nas colunas.

Os *blisters* deverão ser posicionados nas colunas externas da plataforma, casos 1 da seção 2.3.5, pelo fato de ser esta configuração apresentar maiores forças de restauração em relação ao eixo crítico na condição de avaria da plataforma, embora, não sejam as melhores para minimizar o movimento vertical de primeira ordem.

Os *sponsons* deverão ser arranjados nas partes externas e nas extremidades dos tubulões a fim de diminuir a força total em arfagem atuante na plataforma, de tal forma a diminuir a parcela $e^{ik(x_j \cos \chi + y_j \sin \chi)}$ da força no tubulão, nas faixas do espectro de mar de maior energia.

Sendo as *split forces* decorrentes dos volumes adicionados pelos *sponsons*, recomenda-se não aumentar, na medida do possível, os volumes dos *sponsons*, a fim de diminuir as tensões atuantes nos contraventamentos. Isto pelo fato de serem os contraventamentos os componentes estruturais que apresentam maiores problemas de fadiga, por estarem submetidos a esforços cíclicos.

2.0 O modelo analisado por meio da metodologia proposta na seção 2.3.5, apresentou iguais resultados quando comparados com os obtidos nos ensaios em tanques de provas por TACHIBANA e NAMBA [9], embora, no presente modelo, mais simplificado, tenham sido desprezados: amortecimento potencial, massa adicionada pelo blisters, efeitos hidrodinâmicos dos contraventamento, entre outros.

As plataformas resultantes da parametrização com RVs constantes, apresentaram, em uma primeira instância, uma diminuição de 20 % na amplitude significativa do movimento vertical de primeira ordem, quando comparados com a plataforma inicial. Embora a estabilidade inicial tenha diminuído de 2.35 m para 2.0 m, a parametrização com RVs é benéfica, porque além de não diminuir o GM (um fator limitante nesta parte do projeto), o movimento de primeira ordem é minimizado nos seguintes ciclos da espiral, pela redistribuição dos volumes do casco submerso ou pela adição de aletas laterais.

Sendo o objetivo primordial, a minimização do movimento de arfagem, a filosofia de parametrização baseada nas RVs constantes apresentou bons resultados, pela simplicidade, nos primeiros ciclos do projeto, de gerarem-se as possíveis famílias de plataformas.

3.0 Na utilização do método dos elementos finitos para a análise estrutural, chegou-se aos seguintes resultados:

Os resultados obtidos pelo programa SAP90 na análise da resistência longitudinal foram os mesmos obtidos pelo programa TRANSEC e são bons, quando comparados aos métodos tradicionais de cálculos.

Na análise da resistência transversal o programa TRANSEC apresentou melhores resultados quando comparados aos obtidos pelo programa SAP90, devido a possibilidade de se utilizar no primeiro o elemento de cisalhamento na definição do modelo, simulando desta forma o comportamento da plataforma como viga navio.

A máxima variação das tensões nos diferentes elementos do modelo S24800 está na faixa entre 13 a 20%, quando comparadas às tensões do modelo da PBXIII, sendo o fator de concentração de tensões dos contraventamentos 1.7.

Sendo a capacidade de aumento das cargas no convés um fator limitante no projeto de conversão, um aumento no deslocamento de projeto decorrente de um aumento na produção diária do reservatório, pode ser feito do ponto de vista estrutural, já que os contraventamentos do novo modelo podem ser reforçados por *sponsons* transversais, que unem os tubulões (caso 3 em seção 2.3.5).

4.0 De forma geral, os critérios utilizados na conversão são mais rígidos do que os de construção, pelas dificuldades encontradas em se fazer modificações em estruturas já existentes.

No projeto de construção, a plataforma é dimensionada, otimizada e depois construída, onde as limitações encontradas no projeto são mínimas. No projeto de conversão muitas limitações são encontradas e estas vão desde as limitações de boca do dique, para fazer as modificações dos *sponsons*, até restrições de peso impostas pela estrutura.

Plataformas antigas, foram projetadas segundo os critérios da época, muitas destas plataformas se são analisadas segundo os novos critérios podem até ser inviáveis, porém, os projetos de conversão deve ser muito rigoroso.

Para obter as curvas de KG máximo permissível, segundo os critérios de estabilidade da ABS, a velocidade do vento a ser utilizada é 51.5 m/s (sobrevivência) e sendo que a velocidade típica do vento na Bacia de Campo é 40.0 m/s (velocidade do vento em sobrevivência e operação adotada pela PETROBRÁS), o uso de velocidade de vento maiores (diferença entre as anteriores velocidades), reduzem a máxima altura permissível para o centro de gravidade da plataforma.

As curvas de estabilidade obtidas pelos métodos de modelamento de sólidos apresentam bons resultados quando comparados com os métodos tradicionais, economizando tempos de trabalhos, especial mente para ângulos nos quais o tubulão sai fora da linha d'água. Uma maior precisão no desenho das curvas de estabilidade pode ser obtida, dependendo do número das linhas d'água de projeto e planos de cortes utilizados na determinação dos parâmetros elucidados na figura 2.9.

Como uma extensão deste trabalho propõe-se:

a) Estender o algoritmo desenvolvido para o cálculo da amplitude significativa do movimento de arfagem aos seis graus de liberdade da plataforma.

b) Utilizar a filosofia de parametrização GM constante a fim de comparar resultados.

5.0 ANEXOS

5.1 ANEXO A.

PROGRAMA FORMAS

ESTE PROGRAMA BASEIA-SE NA FILOSOFIA DE PARAMETRIZAÇÃO ELUCIDADA NA FIGURA 2.8. O OBJETIVO PRIMORDIAL É GERAR UMA FAMÍLIA DE PLATAFORMAS QUE APRESENTEM O MESMO COMPORTAMENTO EM ONDAS DA PLATAFORMA INICIAL, PARA O QUAL FIXAM-SE PARÂMETROS COMO O PERÍODO NATURAL DE ARFAGEM E RELAÇÃO DE VOLUMES CONSTANTE.

```

Program FORMAS;
uses crt,printer;

const g=9.806; {aceleração da gravidade em metros/seg ^2}
      ro=1.036;{densidade da agua de mar em tons/m^3}

type tipo3=string[70];

var arqdados,saida: text;
    titulo:tipo3;
    nomeentra,nomesai:tipo3;

    B1,B2,D1,D2,LI,LT,H,DESLOCAMENTO,DSL,X,DW,BC,AWI,LE,
    AWE,AW,K,W,WZ,CA22,CA33,CA33A,MA22,MA33,B4,TH,DI,GM
    ,ERRO,deslofinal,D2final,Lfinal,ids,ind2,inli,KM,
    DP1,DP2,DC1,DC2,KGDP1,KGDP2,KGDC1,KGDC2,KB,BM,KG,RATIO:REAL;

    NCI,NCE,NT,NM,NIT,U:INTEGER;

label 10,20,30,40;

begin

CLRSCR;
gotoxy(24,1);
writeln('PROGRAMA FORMAS.PAS');
gotoxy(28,2);
writeln('Ver 2.0 ');
gotoxy(20,3);
writeln('(c) Rafael E Meza Abad ');

delay(2000);

10:clrscr;
gotoxy(24,1);
writeln('PROGRAMA FORMAS.PAS');
gotoxy(28,2);
writeln('Ver 2.0 ');
gotoxy(20,3);
writeln('(c) Rafael E Meza Abad ');
gotoxy(24,5);

WRITELN('MENU DE OPÇÕES ');
writeln;
gotoxy(15,8);
writeln('[1].....CONTINUA PROGRAMA ');
writeln;
gotoxy(15,12);
writeln('[2].....INTERROMPE SEÇÃO);
gotoxy(15,16);
writeln('[3].....MOSTRA ARQUIVO DADOS);
gotoxy(15,22);
writeln('OPÇÃO DESEJADA.....[ ]);
gotoxy(46,22);
readln(u);

if u=1 then goto 20;

```

```
if u=2 then goto 30.  
if u=3 then goto 40.  
goto 10.
```

```
20:clrscr;  
writeln;  
gotoxy(15,15);  
writeln('NOME DO ARQUIVO DE DADOS ?.....');  
gotoxy(50,15);  
readln(NOMEENTRA);  
gotoxy(15,16);  
writeln('NOME DO ARQUIVO DE SAIDA ?.....');  
gotoxy(50,16);  
readln(NOMESAI);  
assign(ARQDADOS,NOMEENTRA);  
assign(SAIDA,NOMESAI);  
clrscr;
```

```
reset(arqdados);  
gotoxy(15,15);  
writeln('LENDO ..... ',NOMEENTRA);  
delay(2000);  
readln(arqdados,titulo);  
readln(arqdados,dsl,deslofinal,ids);  
readln(arqdados,LT,LE,Lifinal,NM,NT,B2,H,BC,inLi);  
readln(arqdados,D1,D1,NCE,NCI,X,D2final,inD2);  
readln(arqdados,Th,dw,KG);
```

```
close(arqdados);  
clrscr;  
gotoxy(15,15);  
writeln(' FECHANDO ARQUIVO.....',NOMEENTRA);  
delay(1000);
```

```
Clrscr;  
rewrite(saida);  
gotoxy(15,15);  
writeln('ABRINDO.....',NOMESAI);  
delay(1000);  
writeln(saida);  
writeln(saida,' KG ASSUMIDO : ',KG:2:2,' mts');  
writeln(saida);  
writeln(saida,' COMPRIMENTO DO PONTOON ',LT:2:2,' mts');  
writeln(saida);  
writeln(saida,' BOCA CENTROS PONTOON ',BC:2:2,' mts');  
writeln(saida);  
writeln(saida,' CALADO A CENTRO PONTOON ',DW:2:2,' mts');  
writeln(saida);  
writeln(saida,' PERIODO DE HEAVING ',TH:2:2,' seg');  
writeln(saida);
```

```
writeln(saida,'DESLOCAMENTO'; D2 ' ' D1 ' ' H ' ' B1 ' '  
' B4 ' ' LI ' ' KM ' ' GM ' ' RELACAO DESL');
```

```
writeln(saida);
```

```
LI:=LE;
```

WHILE LI<=LIFINAL DO BEGIN

DESLOCAMENTO:=DSL;

WHILE DESLOCAMENTO<=DESLOFINAL DO BEGIN

D2:=DI;

WHILE D2<=D2FINAL DO BEGIN

CLRSCR;

GOTOXY(20,15);

WRITELN('.....EM PROCESSO DE DADOS PROGRAMA FORMAS.....');

AW:=0.0;

B1:=0.0;

KM:=0.0;

BM:=0.0;

GM:=0.0;

B1:=(DESLOCAMENTO-RO*PI/4*(SQR(D2)*X*NCI+SQR(D2)*X*NCE + SQR(D1)*(DW-H/2-X)
NCE+SQR(D1)(DW-H/2-X)*NCI) - (B2*H*RO*(LT-NM*LI)*NT))/(NM*NT*LI*H*RO);

DP1:=(NM*NT*RO*B1*LI*H);

KGDP1:=H/2;

DP2:=(RO*B2*H*(LT-NM*LI)*NT);

KGDP2:=H/2;

DC2:=(PI*SQR(D2)/4)*RO*X*(NCE+NCI);

KGDC2:=(DW+H/2-X)/2;

DC1:=(PI*SQR(D1)/4)*RO*(DW-H/2-X)*(NCE+NCI);

KGDC1:=(DW-X-H/2)/2 + H;

KB:=(DP1*KGDP1+DP2*KGDP2+DC2*KGDC2+DC1*KGDC1)/DESLOCAMENTO;

NIT:=0;

ERRO:=1.0;

CA33A:=3.0;

AWI:=PI/4*SQR(D2)*NCI;

AWE:=PI/4*SQR(D2)*NCE;

AW:=AWI+AWE;

RATIO:=(DP1+DP2)/(DC1+DC2);

K:=RO*G*AW*SQR(TH/(2*PI))-DESLOCAMENTO;

MA22:=(RO*B2*H*(LT-NM*LI)*NT);

CA22:=EXP(-0.15793*LN(B2/H)) +EXP(0.4026)-1;

BM:=((PI*SQR(D2)*SQR(D2)/64)+(PI*SQR(D2)/4*SQR(BC/2)))*(NCE+NCI)/DESLOCAMENTO
*RO;

KM:=BM+KB;

GM:=KM-KG;

WHILE (ERRO>0.01) AND (NIT < 200) DO BEGIN

B4:=(K-CA22*MA22)/(CA33A*RO*(LI*H*NM*NT));

IF B4<=0.0 THEN BEGIN

B4:=0.5;

END;

CA33:=EXP(-0.15793*LN(B4/H))+EXP(0.4026)-1;

ERRO:=ABS(CA33A-CA33);

CA33A:=CA33;

NIT:=NIT+1;

END;


```

IF ABS(B1-B4)<=0.5 THEN BEGIN
  IF GM>=0.0 THEN BEGIN
    {IF (RATIO<=2.6) AND (RATIO>=2.36) THEN BEGIN }

    WRITELN(SAIDA,DESLOCAMENTO:7:3,'      ',D2:6:2,'      ',D1:6:2,'
',H:6:2,
            ' ',B1:6:2,' ',B4:6:2,' ',LI:6:2,
            ' ',KM:6:2,' ',GM:6:2,' ',RATIO:10:2);
            {END;}
            END;
            END;

    D2:=D2+IND2;

    END;

    D2:=0.0;

DESLOCAMENTO:=DESLOCAMENTO+IDS;
END;
DESLOCAMENTO:=0.0;
if li>=6.5 then inli:=1.792;

LI:=LI+INLI;
END;
CLOSE(SAIDA);
CLRSCR;
GOTOXY(15,15);
WRITELN('CLOSE ARQUIVO .....',NOMESAI);
DELAY(2400);
CLRSCR;
goto 30.

```

PROGRAMA ESPEKTRO:

ESTE PROGRAMA UTILIZA A METODOLOGIA ILUSTRADA NA FIGURA 2.15, PARA O CÁLCULO DA ARFAGEM, SUPOSTO O ÚNICO GRAU DE LIBERDADE DE UMA PLATAFORMA SEMI-SUBMERSÍVEL SUBMETIDA A ONDAS REGULARES DE TRAVES, SEM CONSIDERAR OS EFEITOS HIDRODINÂMICOS PRODUZIDOS POR OS CONTRAVENTAMENTOS. TAMBÉM SE FAZ O CÁLCULO A AMPLITUDE SIGNIFICATIVA DO MOVIMENTO DE ARFAGEM PARA ESPECTRO DO MAR ITTC.

```
program ESPEKTRO;
```

```
uses dos,crt,printer;
```

```
const g=9.806; {aceleração da gravidade em m/seg**2}  
      ro=1.033; {densidade em tf/m**3}  
      cd=0.70; {coeficiente de amortecimento}
```

```
type tipo1=string[70];  
      tipo2=array[1..30] of real;  
      tipo3=array[1..30] of real;  
      tipo4=array[1..30] of real;
```

```
var arqdados,saida: text;  
    titulo: tipo1;  
    nomeentra,nomesai: tipo1;  
    xtj,ytj,ztj,btj,htj,atj,ltj,desj,catj:tipo3;  
    xcj,ycj,zcj,dcj,acj,lcj,descoj,a33tj,awj,b33peta3t,b33peta3b  
    ,f3pontoonj,f3colunaj,f3pontoonij,f3colunaij,b33peta3c,  
    acblzj,dcb1,dcb2,lzjbj,xcbj,ycbj,zcbj,f3blisterj tipo3;
```

```
descoluna,despontoon,eps1,eps2,a33,nabla,aw,x,c33,  
wn3,w,winicial,eta3,kw,hw,lambda,wad,delw,b33peta3,  
f3pontoon,f3coluna,f3pontooni,f3colunai,ftotal,fti  
,f3,f3ad,sigf3,eta3i,betae,sig3,erro,eta3ad,d,alfa,  
lambdaad,betaepeta3,angulo,tp,hs,wz,wc3,sigma,ka,a,sw,  
sresposta,dsw,swi,area,tm,angblz,desblz,rigriser:real;
```

```
i,j,k,net,nec,u,tt,tc,kk,nfreq,nw,nit,blz,nblz,aa,necd:integer;
```

```
function atan(arg1,arg2: real): real;
```

```
{calcula o arctg de arg2/arg1, e o resultado fica entre 0 e 2*pi rad.  
dependendo dos sinais de arg1 e arg2 (+ e +: 0 a pi/2; - e +: pi/2 a  
pi; - e -: pi a 3*pi/2; + e -: 3*pi/2 a 2*pi)}
```

```
begin
```

```
  if ((arg1>0) and (arg2>0)) then atan:=arctan(arg2/arg1);  
  if ((arg1<0) and (arg2<0)) then atan:=arctan(arg2/arg1)+pi;  
  if ((arg1>0) and (arg2<0)) then atan:=arctan(arg2/arg1);  
  if ((arg1<0) and (arg2>0)) then atan:=arctan(arg2/arg1)+pi;  
  if ((arg2=0) and (arg1>=0)) then atan:=0.0;  
  if ((arg2=0) and (arg1<0)) then atan:=pi;  
  if ((arg1=0) and (arg2>0)) then atan:=pi/2.0;  
  if ((arg1=0) and (arg2<0)) then atan:=-pi/2.0;  
end;
```

```
function grau(arg: real): real;
```

```
{converte rad para grau, e soma ou subtrai 360 graus para o  
resultado ficar entre 0 e 360 graus}
```

```

var n:integer,
begin
  n:=trunc(arg/(2 0*pi));
  grau:=(arg-n*2*pi)*180.0/pi;
end;

label 10,20,30,40;

begin

  clrscr;
  gotoxy(1,10);
  delay(500);
10:clrscr;
  gotoxy(24,3);
  WRITELN('MENU DE OPÇÕES ');
  writeln;
  gotoxy(15,8);
  writeln(['1].....CONTINUA PROGRAMA ');
  writeln;
  gotoxy(15,12);
  writeln(['2].....INTERROMPE SEÇÃO');
  gotoxy(15,16);
  writeln(['3].....MOSTRA ARQUIVO DADOS');
  gotoxy(15,22);
  writeln(' OPÇÃO DESEJADA.....[ ]');
  gotoxy(46,22);
  readln(u);
  if u=1 then goto 20;
  if u=2 then goto 30;
  if u=3 then goto 40;
  sound(1000);
  delay(100);
  nosound;
  goto 10;

20:clrscr;
  eps1:=0.01;
  eps2:=0.01;
  gotoxy(15,15);
  writeln('NOME DO ARQUIVO DE DADOS.....? ');
  gotoxy(50,15);
  readln(NOMEENTRA);
  gotoxy(15,16);
  writeln('NOME DO ARQUIVO DE SAIDA.....? ');
  gotoxy(50,16);
  readln(NOMESAI);
  clrscr;
  assign(ARQDADOS,NOMEENTRA);
  assign(SAIDA,NOMESAI);
  gotoxy(15,15);
  writeln('LENDO ARQUIVO.....',NOMEENTRA);
  reset(arqdados);
  readln(arqdados,titulo);
  readln(arqdados,net);
  for i:=1 to net do begin
    readln(arqdados,btj[i],htj[i],ltj[i],xtj[i],ytj[i],ztj[i]);
  end;
  readln(arqdados,nec,necd);
  for j:=1 to nec do begin

```

```

        readln(arqdados,dcj[j],lcj[j],xcj[j],ycj[j],zcyj[j]).
    end,

readln(arqdados,nblz);

if nblz>0 then begin

    for aa:=1 to nblz do begin
        readln(arqdados,dcb2[aa],dcb1[aa],lzbj[aa],xcbj[aa],ycbj[aa],zcbj[aa]);
    end;

end;

readln(arqdados,winicial,nfreq,delw);
readln(arqdados,hw,tm,angulo);
readln(arqdados,blz,x,angblz);
readln(arqdados,rigriser);
close(arqdados);
clrscr;
gotoxy(15,15);
writeln('ANGULO DE INCIDÊNCIA DA ONDA = ',(360*ANGULO/(2*PI)):10:2);
delay(5000);
despontoon:=0.0;
descoluna:=0.0;
a33:=0.0;
nabla:=0.0;
c33:=0.0;
aw:=0.0;
desblz:=0.0;
for j:=1 to nec do begin
    awj[j]:=0.0;
end;

for i:=1 to net do begin
    atj[i]:=btj[i]*htj[i];
    desj[i]:=atj[i]*ltj[i]*ro;
    catj[i]:=exp(-0.15794*ln(btj[i]/htj[i]))+exp(0.4126)-1.00;
    a33tj[i]:=catj[i]*desj[i];
    despontoon:=despontoon+desj[i];
    a33:=a33+a33tj[i];    {massa adicional total SS}
end;
for j:=1 to nec do begin
    acj[j]:=pi*sqr(dcj[j])/4;
    descoj[j]:=acj[j]*lcj[j]*ro;
    descoluna:=descoluna+descoj[j];

    if (blz=1) and (necd=0) then begin

        if abs(zcyj[j]) > abs(x) then begin
            awj[j]:=pi*sqr(dcj[j])/4 ;
            aw:=aw+awj[j];
        end;

    end;

    if (blz=1) and (necd=1) then begin
        if abs(zcyj[j]) < abs(x) then begin
            awj[j]:= pi*sqr(dcj[j])/4;

```



```

                                aw =aw+awj[j].
                                end.
                                end.
                                if blz=0 then begin
                                aw:=aw+acj[j];
                                end;
end;

if nblz>0 then begin
for aa:=1 to nblz do begin

    acblzj[aa]:=pi*(sqr(dcb2[aa])-Sqr(dcb1[aa]))/(4*360/Angblz);

    desblz:=acblzj[aa]*lzbj[aa]*ro+desblz;

    aw:=aw+acblzj[aa];
    end;

end;

nabla:=descoluna+despontoon+desblz;{deslocamento total semisubmersible}

c33:=ro*g*aw+rigriser; {coeficiente de restauracao hidrostatica}

clrscr;
gotoxy(15,15);
writeln(' FECHANDO ARQUIVO.....',NOMEENTRA);
delay(1200);
clrscr;
gotoxy(15,15);
writeln(' ABRINDO ARQUIVO.....',NOMESAI);
delay(1200);
rewrite(saida);
writeln(saida,titulo);
writeln(saida);
writeln(saida,Onda Incidente a = ','',(360*angulo/(2*pi)):10:2,' ','Graus');
writeln(saida);
writeln(saida,'','ELEMENTOS DO TUBULÃO:');
writeln(saida);
writeln(saida,'Elemento',' ','bt',' ','ht',' ','lt',' ','xt',' ','yt',' ','zt',
' ','deslocamento',' ','Ca33c',' ','Massa adicionada');
writeln(saida);

for i:=1 to net do begin
    writeln(saida,' ',i:4,' ','btj[i]:6:2',' ','htj[i]:6:2',' ','ltj[i]:6:2',' ',
    'xtj[i]:6:2',' ','ytj[i]:6:2',' ','ztj[i]:6:2',' ','desj[i]:10:2',' ','catj[i]:6:2',
    ' ','a33tj[i]:6:2');

end;

writeln(saida);
writeln(saida);
writeln(saida,'','ELEMENTOS DE COLUNAS:');
writeln(saida);
writeln(saida,'Elemento',' ','dc',' ','lc',' ','xc',' ','yc',' ','zc',

```

```

        'deslocamento','area fluctuacao').
writeln(saida);
for j=1 to nec do begin
    writeln(saida,'j:2,'dcj[j]:6:2,'lcj[j]:6:2,'xcj[j]:6:2,'
        ycj[j]:6:2,'zcyj[j]:6:2,'descoj[j]:8:2,'awj[j]:6:2);
    end;

WRITELN(SAIDA);

if nblz>0 then begin

writeln(saida);
writeln(saida,'ELEMENTOS DE BLISTER:');
writeln(saida);

writeln(saida,'Elemento',' D2 ',' D1',' Lz ',' Xcz',' Ycz',' Zcz');

writeln(saida);

for aa=1 to nblz do begin

writeln(saida,'aa:2,'dcb2[aa]:10:2,'dcb1[aa]:10:2,'lzbj[aa]:10:2,
    'xcbj[aa]:10:2,'ycbj[aa]:10:2,'zcbj[aa]:10:2);

    end;

end;

writeln(saida);
writeln(saida);
writeln(saida,'DESLOCAMENTO TOTAL = ','NABLA:5:3,' tons);
writeln(saida);
writeln(saida,'MASSA ADICIONADA HEAVING = ','A33:5:3,' tons);
writeln(saida);
writeln(saida,'COEFICIENTE DE RESTAURACAO HIDROSTATICA = ','C33:5:2);

wn3:=sqrt(c33/(nabla+a33)); {frequencia natural arfagem
    sistema nao amortecido}
wc3:=sqrt(c33/(despontoon+a33));{frequencia cancelamiento forcas}
writeln(saida);

writeln(saida,'FREQUENCIA NATURAL = ','wn3:2:4,' rad/seg);

w:=winicial;
eta3:=1.0;
swi:=0.0;
dsw:=0.0;
hs:=0.0;
wz:=0.0;
AREA:=0.0 ;

```

```

writeln(saida);
writeln(saida,' PERIODO:', AMPLITUDE:', NIT:', ERRO');
writeln(saida);
for kk:=1 to nfreq do begin
  w:=w+delw;
  kw:=sqr(w)/g;
  lambda:=2.0*pi/kw;
  wad:=w/wn3; {frequencia adimensional}
  b33peta3:=0.0;

  for i:=1 to net do begin

    b33peta3t[i]:=8.0/(3.0*pi)*ro*0.5*cd*ltj[i]*btj[i]*w;
    b33peta3:=b33peta3+b33peta3t[i];

  end;

  for j:=1 to nec do begin
    if zcj[j] >= abs(x) then begin

      b33peta3c[j]:=8.0/(3*pi)*ro*0.5*cd*pi*sqr(dcj[j])/4*w;
      b33peta3:=b33peta3+b33peta3c[j];

    end;
  end;
  {amortecimento b33/eta3, dado por
  ro*cd*0.5*d*I*w*nt, sendo cd=0.7 o
  coef. de arrasto; un.: tf*seg/m^2}

  for aa:=1 to nblz do begin

    b33peta3b[aa]:=8.0/(3*pi)*ro*cd*0.5*acblzj[aa];
    b33peta3:=b33peta3+b33peta3b[aa].

  end;

  if (wad<=1.0) then eta3:=1.05*eta3 else eta3:=0.95*eta3;

  nit:=0;
  erro:=eta3;

  if (erro<=eps2) then erro:=0.1;

  while ((erro>0.01) and (nit<200)) do begin

    CLRSCR;
    GOTOXY(15,15);
    writeln('!.... CALCULO ARFAGEM PLATAFORMA
SEMISUBMERSIVEL....!');
    nit:=nit+1;
    betaepeta3:=b33peta3*wn3/c33 {amortecimento ad./eta3}
    f3pontoon:=0.0;
    f3pontooni:=0.0;
    f3coluna:=0.0;

```

```
f3colunai =0 0.  
ftotal =0 0.
```

```
for i:=1 to net do begin
```

```
    f3pontoonj[i]:=-0.5*hw*(desj[i]+a33tj[i])*sqr(w)  
        *exp(kw*ztj[i])*cos(kw*xtj[i])  
        *cos(angulo)+kw*ytj[i]*sin(angulo));
```

```
    f3pontoon:=f3pontoon+f3pontoonj[i];
```

```
    f3pontoonij[i]:=b33petat[i]*0.5*hw*w*exp(kw*ztj[i])  
        *cos(kw*xtj[i])*cos(angulo)+kw  
        *ytj[i]*sin(angulo));
```

```
    f3pontooni:=f3pontooni+f3pontoonij[i];
```

```
end;
```

```
for j:=1 to nec do begin
```

```
    f3colunaj[j]:=0.5*hw*awj[j]*ro*g*exp(kw*zcj[j])  
        *cos(kw*xcj[j])*cos(angulo)  
        +kw*ycj[j]*sin(angulo);
```

```
    f3coluna:=f3coluna+f3colunaj[j];
```

```
    f3colunaij[j]:=0.0;  
    f3colunai:=f3colunai+f3colunaij[j];
```

```
end;
```

```
if nblz>0 then begin  
    for aa:=1 to nblz do begin
```

```
        f3blisterj[aa]:=0.5*hw*ro*g*acblzj[aa]*exp(kw*zcbj[aa])  
            *cos(kw*xcbj[aa])*cos(angulo)+kw*  
            *ycbj[aa]*sin(angulo);
```

```
        f3coluna:=f3coluna+f3blisterj[aa];
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
clrscr;  
gotoxy(15,15);  
writeln("SAVE DADOS");  
ftotal:=f3pontoon+f3coluna;  
fti:=f3pontooni+f3colunai;  
f3:=sqrt(sqr(ftotal)+sqr(fti));  
f3ad:=f3/(0.5*hw);
```

```

sigf3:=atan(ftotal,fti);
eta3i:=eta3;
betae =betaepeta3*eta3;
eta3:=(f3/c33)/(sqrt(sqrt(sqrt(wad)-1.0)+sqrt(wad*betae)));
sig3:=atan(-(sqrt(wad)-1.0),wad*betae)+sigf3;
erro:=abs(eta3-eta3i);
end;

eta3ad:=eta3/(0.5*hw);

tp:=2*pi/w;

if(tp>=1.0) and (tp<= 30.0) then begin
wz:=2*pi/Tm;
hs:=hw;
ka:=0.1107*sqrt(hs)*sqrt(wz/w)*sqrt(wz/w)*1/w;
alfa:=exp(-0.442*sqrt(wz/w)*sqrt(wz/w));
SW:=alfa*ka;
Sresposta:=sqrt(eta3ad)*SW;
DSW:=abs(sresposta-swi);

swi:=sresposta;
area:=(sresposta*delw)+(dsw*delw/2)+area;

end;

clrscr;
gotoxy(15,15);

writeln(saida,2.0*pi/w:12:3,' ',ETA3AD:6:2,' ',nit:12,' ',Sw:10:2,' ',f3:6:2,' ',
ftotal:6:2,' ',sw:6:2,' ',sresposta:6:2);
END;
writeln(saida);
writeln(saida);
writeln(saida,' valor medio espectro :', sqrt(area)*4:16:3);
writeln(saida,' PERIODO DE CANCELAMENTO DE FORÇAS.: ', 2*PI/WC3:6:2);

clrscr;
gotoxy(15,15);
writeln('VALOR MEIO DA ESPECTRO RESPOSTA.....',SQRT(AREA)*4:6:2);

delay(3000);
clrscr;
gotoxy(15,15);
writeln(' FECHANDO ARQUIVO.....',NOMESAI);
delay(2000);
close(saida);
goto 30;

```


PESOS E CENTRO

Nesta seção será determinada a posição vertical (VCG), longitudinal (LCG) e transversal (TCG) do centro de gravidade da plataforma após a conversão.

Para padronizar os diferentes equipamento alocados na plataforma PBXIII, estes divididos em:

- a) Peso estrutural do aço na plataforma
- b) Pesos dos equipamentos de produção.
- c) Pesos das acomodações.
- d) Pesos do sistema de completação.
- e) Pesos do sistema de amarração.
- f) Pesos do sistema de lastro.
- g) Pesos das maquinarias.

A quantidade e pesos dos equipamentos foram consultados em empresas do setor *offshore* (ULTRATEC ENGENHARIA S.A e PETROBRÁS).

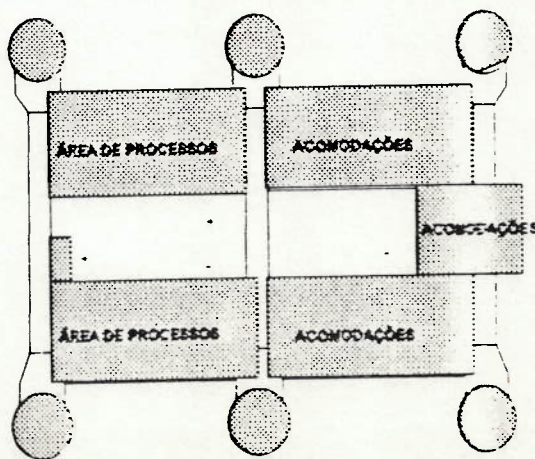


Figura 4.1 Convenção de sinais utilizada na distribuição dos pesos.

ITENS	PESO	VCG	LCG	TCG
ESTRUTURA	tons	mm	mm	mm
PESO DA ESTRUTURA	8150	19095	0	0
SPONSON	600	3050	0	0
BLISTER	200	18300	0	0
TUBULAÇÕES	800	40300	0	0
REFORÇOS ESTRUTURAIS	300	40300	17500	0
SISTEMA DE PRODUÇÃO				
AQUECEDOR DE PRODUÇÃO 1	6,3	40300	4000	-7375
AQUECEDOR DE PRODUÇÃO 2	6,3	40300	4000	-8775
AQUECEDOR DE PRODUÇÃO 3	6,3	40300	4000	-10175
SEPARADOR DE PRODUÇÃO 1	30,3	40300	12000	-7375
SEPARADOR DE PRODUÇÃO 2	30,3	40300	12000	-8775
SEPARADOR DE PRODUÇÃO 3	30,3	40300	12000	-10175
TANQUE DE AFERIÇÃO	20	40300	16000	-10175
UNIDADE RECUPERADORA DE VAPOR	25	40300	16000	-8775
BOMBAS DE TRANSFERÊNCIAS	10	40300	16000	-12700
SLUDGE TANK	20	40300	23000	-6175
SIS TRATAMENTO ÁGUAS OLEOSAS	10	40300	28000	-10117
INJEÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS	70	40300	2500	-6175
SISTEMA DE INJEÇÃO D'ÁGUA	103	32100	10000	-6635
SISTEMA COMPRESSOR DE GÁS 1	270	40300	20000	6150
SISTEMA COMPRESSOR DE GÁS 2	270	40300	20000	8475
DESIDRATADOR DE VAPOR	31	40300	7000	10000
REGENERADOR DE GLICOL	25	40300	7000	10000
VASO COLETOR DE VAPOR	22,5	40300	28000	8475
TOCHA MULTIFLARE	51	40300	33500	46900
ACOMODAÇÕES				
ACOMODAÇÕES BORESTE	33	36700	-16750	10000
ACOMODAÇÕES BOMBORDO	33	36700	-16750	14125

ITENS	PESO	VCG	LCG	TCG
ACOMODAÇÕES PROA	33	36700	-33500	0
HELIPORTO	40	43950	-52900	0
SALVATAGEM 1	35	43950	-42900	0
SALVATAGEM 2	35	43950	42900	0
EQUIPAMENTOS DE COMUNICAÇÃO	20	40250	-33500	7750
SISTEMA DE CO2	20	40250	-33500	0
SISTEMA DE AMARRAÇÃO				
GUINDASTE 1	70	43500	0	27500
GUINDASTE 2	70	43500	0	-27500
WINCHE DE AMARRAS 1	30	38200	33500	27500
WINCHE DE AMARRAS 2	30	38200	33500	-27500
WINCHE DE AMARRAS 3	30	38200	-33500	27500
WINCHE DE AMARRAS 4	30	38200	-33500	-27500
AMARRAS PAIOL 1	37.3	14100	33500	27500
AMARRAS PAIOL 2	37.3	14100	33500	-27500
AMARRAS PAIOL 3	37.3	14100	-33500	27500
AMARRAS PAIOL 4	37.3	14100	-33500	-27500
AMARRAS NO TUBULÃO 1	360	8100	33500	27500
AMARRAS NO TUBULÃO 2	360	8100	33500	-27500
AMARRAS NO TUBULÃO 3	360	8100	-33500	27500
AMARRAS NO TUBULÃO 4	360	8100	-33500	-27500
MAQUINARIA				
COMPRESSORES DE AR	10	36700	-12500	-5812
SISTEMA GERAÇÃO PRINCIPAL	70	36700	-12500	5812
SISTEMA GERADOR DE EMERGÊNCIA	32	41100	-33500	7750
COMPRESSORES DE AC	25	36700	-10000	-5812
EQUIPAMENTOS NO TUBULÃO	110	3050	0	0
SISTEMA DE CONTROLE	50	36700	1675	-13625

ITENS	PESO	VCG	LCG	TCG
SISTEMA DE COMPLETAÇÃO				
EQUIPAMENTOS DOS RISERS	100	36700	8000	-2000
TENSÕES DOS RISERS	1500	36700	8000	-2000
TORRE DE COMPLETAÇÃO	250	40000	8000	-2000
TANQUES				
COMBUSTIVEL TANQUES 10 E 7	1312	3050	0	0
ÁGUA POTÁVEL TANQUES 3P E 3S	280	3050	-33500	0
COMBUSTIVEL DIÁRIO	10	40250	-33500	-6200
LASTRO	8270	4830	0	0
LASTRO DRILL WATER	730	3050	-44450	0
DESLOCAMENTO TOTAL	24434	15315	740	49.19

Onde a posição longitudinal e transversal do centro de gravidade pode ser corrigida com operações de lastre ou deslastre nos diferentes tanque existentes na plataforma (Ver relatório de estabilidade PBXIII) [22].

6.0

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]-Boletim Técnico, Rio de Janeiro, PETROBRÁS, V 33 n.4, Outubro. 1990.
- [2]-FILSON, J.; HENDERSON, A.; EDELBLUM, L.; PICKARD, R. Modification of PENROD 72 for green canyon block 29 development. In. OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 20. Houston, 1988. Proceedings. Houston, S. ed. 1988. V.4, p.343-51.
- [3]-NISHIMOTO, K.; LEITE, A.; VASCONCELLOS, J. Um método para a geração e estudo paramétrico de plataformas semi-submersíveis de produção. In. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 14, Rio de Janeiro, 1992. Anais. Rio de Janeiro. SOBENA, 1992. V.4 . p 177-204.
- [4]-BRUNOZI, P.F.; BABADOPULOS, J, L. Procedimentos de análises de estabilidade de estruturas offshore. In. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 13, Rio de Janeiro, 1990. Anais. Rio de Janeiro, SOBENA, 1990. V.1, p 441-447.
- [5]-NISHIMOTO, K.; LEITE, A.; MOOROKA, C.; ARANHA, J. Minimization of vertical wave exciting force and heave motion of a production Semi-submersible with rigid riser. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN OFFSHORE, 11, Calagary, 1992. Proceedings. New York, ASME, 1992. V.1a p 215 -221.

- [6]-MAZZUCO, J, C. Um método de cálculo de forças de excitação e movimentos de plataformas semi-submersíveis. São Paulo, EPUSP, 1989. (Relatório Interno PNV-801).
- [7]-MAZZUCO, J.C Especificação de um sistema para otimização de dimensões principais de plataformas semi-submersíveis. São Paulo, EPUSP, 1989. (Relatório interno PEL-830, Princípios de projetos de software e metodologia de programação).
- [8]-DE CONTI,M.B. Esforços em dois cilindros totalmente submersos submetidos a ondas. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 14, Rio de Janeiro, 1992. Anais. Rio de Janeiro. SOBENA. V.2.
- [9]-TACHIBANA, T.; NAMBA, H. Implantação do sensor óptico para medida de movimentos de embarcações no laboratório de hidrodinâmica. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 13, Rio de Janeiro 1990. Anais. Rio de Janeiro. SOBENA, 1990. V.2, p 135-157.
- [10]-FREITAS, E.D.S. Análises estrutural do navio. São Paulo, EPUSP. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica 1979. V.2 cap 7.
- [11]-NISHIMOTO, K; BRUNOZI, P. F; BABADOPULOS, J.L. Analysis of mooring lines and riser effects on the stability of semisubmersibles. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OFFSHORE AND ARTIC ENGINEERING, 10. Stavanger, 1991. Proceedings. New York, ASME, 1991. v.1B p 687-693.

- [12]-AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Experience and general procedures for the classification / certification of floating production systems. New York, ABS, 1992.
- [13]-AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practice for production facilities on offshore structures. (API RP 2G), Washington 1974.
- [14]-FERNANDES,A.C.; PETKOVIC,M.L.; SANTOS,M,N. Critérios de estabilidade para semi-submersíveis de produção. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 13, Rio de Janeiro 1990. Anais, Rio de Janeiro, SOBENA 1990. V.1, p 335-49.
- [15]-NISHIMOTO,K.; RIVA,J.C.; VASSALO, M.; CAMILLI, A. Utilização do catia e caeds para projeto de navios e sistemas oceânicos. In. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 14, Rio de Janeiro, 1992. Anais. Rio de Janeiro, SOBENA, 1992. V.1 p.75-96.
- [16]-AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. Rules for Building and Classing Mobile offshore drilling units(MODUS's 91). Paramus, ABS,1991.
- [17]-SPRINGETT,C.; PRAUGHT,M. Semisubmersible design consideration- some new developments. Marine Technology, V.23 N1 p.12-23, Janeiro,1986.

- [18]-AUGUSTO, O, B. About shears stress in ship structure. São Paulo, EPUSP, 1993. (Relatório Interno Departamento de Engenharia Naval. 02).
- [19]-AUGUSTO, O, B. The automatic design of ship transversal structure. São paulo, EPUSP, 1993. (Relatório Interno Departamento de Engenharia Naval e oceânica 01).
- [20]-AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Draft recommended practice for design, analysis, and maintenance of mooring for floating production systems. (API RP 2FP1). Washington. 1991.
- [21]-AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practice for the analysis os spread mooring system for floating drilling units. (API RP 2P). Washington, 1991.
- [22]-PETROBRÁS . Petróleos Brasileiros S.A. Estabilidade da plataforma PETROBRÁS XIII. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1981. (Relatório interno, OF.1000-61).

6.1 BIBLIOGRÁFIA COMPLEMENTAR.

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Comparison of marine drilling riser analyses. Bulletin API, january 1977. (Bulletin API).
- CHAKRABARTI, S.; COTTER, D. Hidrodinamic coefficients of a moored Semi-submersible in waves. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, February 1992.

- HUSE, E.; NEDRELIT, T. Hydrodynamic stability of semisubmersibles under extreme weather conditions. OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 1985. Proceedings. Houston, V.3 p.263-267.
- DE CONTI, M.B. O esforço de deriva em uma embarcação ou sistema oceânico fixo submetido a ondas regulares de través. São paulo EPUSP, 1993. (PNV-466 Hidrodinâmica III).
- MARQUES, A, D, S.; LEITÃO, H, L, F. Melhoria da capacidade de carga da plataformas semi-submersíveis da petrobrás. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 13, Rio de Janeiro, 1990. Anais. Rio de Janeiro, SOBENA. 1990. V.1, p 293-316.
- MOOROKA, C, K. Simulação no domínio do tempo dos movimentos de estruturas oceânicas flutuantes em ondas. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 1990, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, SOBENA, 1990. V.2, p 109-134.
- MOOROKA, C, K.TAKEZAWA, S.;HIRAYAMA,T. Movimentos de plataformas flutuantes semi-submersíveis amarrados em ondas. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE MARÍTIMO E CONSTRUÇÃO NAVAL, 12, Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, SOBENA, 1988. V.2, p.125-152.
- NISHIMOTO,K; LEITE,A.J.P. Effect of lateral keel and blister on Semi-submersible for the minimization of heaving motion. São Paulo, EPUSP, 1993. (Relatório Interno do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica).

-PENNY, P.W. Preliminary design of semi-submersibles, Transection of the Royal Institution of Naval Architects (RINA), V.126, p 49-68, 1984.

-PETROBRÁS. Petróleos Brasileiros S.A . Estudo paramétrico para definição de geometria. Rio de Janeiro, Petrobrás, s.d. (Memorial de Cálculo MC-INOV.03-NA-960-12).

-PETROBRÁS, Petróleos Brasileiros S.A. Análise estrutural global plataforma semi-submersível de produção com completação seca. Rio de Janeiro, Petrobrás, s.d. (Memorial de Cálculo MC-INOV.03-ME-140-009).

APÊNDICE. A

CASCO SUBMERSO.

A presente seção referir-se-à definição do casco submerso do modelo S24800. Na anterior definição os seguintes parâmetros foram utilizados:

- a) Utilizou-se 2400 elementos de cascas e 1750 elementos de viga para a modelagem do casco submerso, com as anteparas transversais e longitudinais (figura B1).
- b) Utilizou-se 640 elementos de casca para modelar os contraventamentos com a coluna. Nesta modelagem, não se consideram os efeitos produzidos pelo cordão de solda (figura B2).

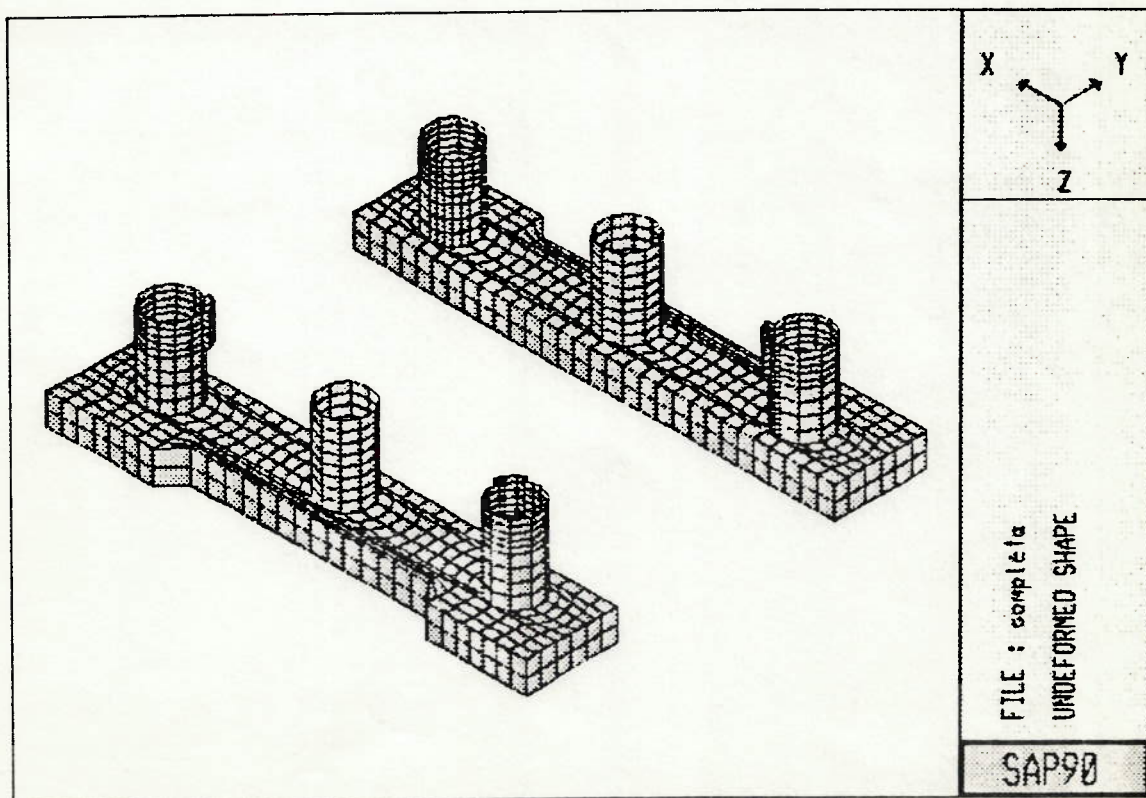


Figura B1 Casco submerso do modelo S24800.

Adotando os carregamento de projetos, apresentados na tabela 3.15, obtém-se os gráfico das tensões no contraventamento e no tubulão (figuras B2 e B3).

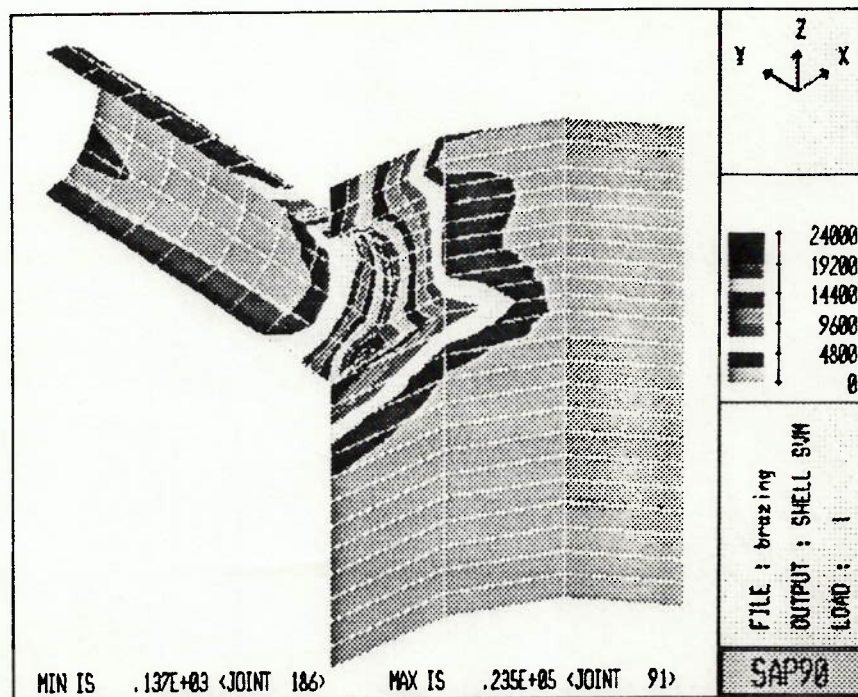


Figura B2 Tensões no contraventamento (KN/cm²)

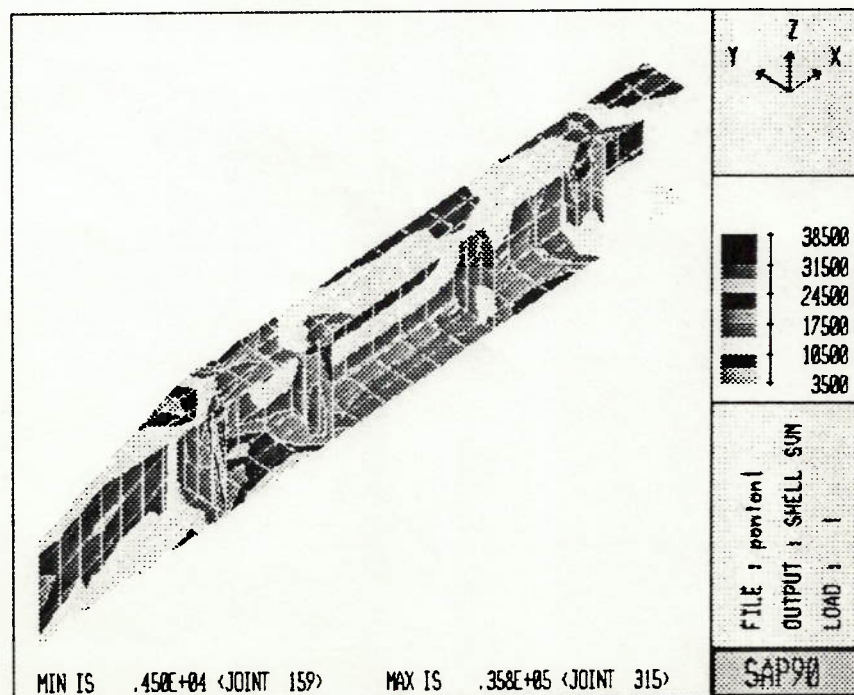


Figura B3 Tensão no tubulão (KN/cm²)

Sendo o fator de concentração de tensões a relação entre as tensões obtidas na modelagem dos membros estruturais, utilizando elementos de cascas (figura B2) e elementos de viga (figura 3.14), pode-se determinar o maior fator de concentração das tensões para os contraventamentos.

Determinado o fator de concentração de tensões, aproximadamente 1.7 (considerando efeitos da solda), pode-se determinar a o número de ciclos de falha da estrutura e conseqüentemente a vida residual da plataforma por alguns dos métodos tradicionais.

ERRATAS

Pagina de rosto. Onde esta grafado "Projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis em plataformas de produção com completação seca", leia-se "Discussão de aspectos relevantes ao projeto de conversão de plataformas semi-submersíveis. (aplicação para um caso com risers rígidos e completação seca)".