

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CIAGA
DEPARTAMENTO DE ENSINO DE NÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE NÁUTICA (APNT)**



**UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAGEM E
TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO: CONVERSÃO DE NAVIOS EM
PLATAFORMAS TIPO FPSO**

ANIELLE MARTINS DA SILVA

Rio de Janeiro

2011

ANIELLE MARTINS DA SILVA

**UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAGEM E
TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO: CONVERSÃO DE NAVIOS EM
PLATAFORMAS TIPO FPSO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como requisito final para obtenção da carta de Capitão-de Cabotagem.

Orientador : CLC Orlando Carlos Souza da ROCHA

Rio de Janeiro
2011

ANIELLE MARTINS DA SILVA

**UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAGEM E
TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO: CONVERSÃO DE NAVIOS EM
PLATAFORMAS TIPO FPSO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como requisito final para obtenção da carta de Capitão-de-Cabotagem.

Aprovada em pela Banca Examinadora ____ de outubro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: CLC Orlando Carlos Souza da Rocha
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Examinador
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Examinador
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, que ilumina e guia meus passos.

À minha maravilhosa família que tanto me apóia e me dá força para seguir em frente Muito obrigada pai, mãe, Alisson, Aron e Anelise (Idinha), Lud e Alice, amo vocês!

Ao Aluísio que soube entender meus momentos dedicados a este trabalho, mantendo a mansidão de um mar de Almirante.

Aos colegas de profissão Bogdan Trojecki, Mark Bromwich e Przemyslaw Szumny que com muita presteza me ajudaram a achar arquivos e fotos para a realização deste trabalho e cujo profissionalismo e companheirismo são muito apreciados por mim.

Aos respeitados Comandantes Jair Accioly, José Menezes e Charles França (nobre paraninfo) que daqui por diante, serão exemplos para o exercício da minha nova patente.

À SBM Offshore, minha atual empresa, por viabilizar este curso, acreditar no meu potencial e incentivar meu crescimento.

Ao orientador e Comandante Orlando Rocha, que juntamente com os Comandantes Adilson Coelho, Chaves, Valgas Lobo e funcionários Civis Thereza, Eli e Carlos Eduardo fizeram com que o curso acontecesse da melhor maneira possível.

E aos queridos companheiros de classe e futuros Comandantes, aos demais colegas, a bordo e em terra, que de alguma maneira contribuíram para a elaboração desse trabalho. À todos, inclusive ao mar onde com tanto prazer eu trabalho, meu sincero agradecimento.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, que me mostra como os obstáculos ficam mais fáceis de serem superados com amor, carinho e apoio. Embora nunca tenham cobrado minha presença, sempre me desculparam pelos momentos em que minha ausência se fez necessária. São as pessoas pelas quais sigo adiante.

E é por isso, que eu dedico esta vitória ao meu pai Gercino, e sua força para viver; à minha mãe Cleusa, por sua doçura e amizade; ao meu irmão mais velho, Alisson, e sua alegria contagiante; ao meu irmão Aron, e sua séria determinação; e à minha irmã caçula e companheira de todas as horas, Anelise, que é meu anjo de carne e osso.

“O conhecimento é a única arma que dispomos para enfrentar a grande viagem do amor com esperança de sucesso. É a nossa bússola mais preciosa, porque, além de nos levar ao rumo certo, mantém a agulha imantada no rumo de nós mesmos”.

(Marina Colasanti)

RESUMO

Com a exploração de petróleo em águas cada vez mais profundas e em posições muito longe do continente ficou praticamente inviável a utilização de plataformas tipo fixas e semi-submersíveis para extração de petróleo *off-shore*. Surgiu então uma maneira economicamente viável e estrategicamente interessante de solucionar este problema utilizando navios com o casco simples na conversão em plataformas tipo FPSO, que vem a serem Unidades Flutuantes de Produção, Armazenagem e Transferência de óleo. Os cascos mais usados são os de VLCC das décadas de 70 e 80, já impedidos de navegarem pelas legislações internacionais, por se tratarem de embarcações sem o fundo duplo exigido atualmente. Serão apresentadas neste trabalho as principais características e procedimentos adotados nestas conversões que não só abrangem a colocação de módulos novos para exploração e produção de óleo, mas também manutenção e melhoramento das redes, estruturas e equipamentos originais do navio para garantir uma vida útil mais longa e sem a necessidade de docagens convencionais. Com a demanda de exploração e produção de óleo nos vários poços já existentes bem como nos recém-descobertos, incluindo o gigantesco pré-sal, faz com que os grandes estaleiros do mundo se especializem cada vez mais neste tipo conversão, negócio este, com boas perspectivas de crescimento e retorno financeiro comprovadamente lucrativo.

Palavras-chave: FPSO, Conversão, Estaleiros, Unidades Flutuantes, Produção de Petróleo

ABSTRACT

Oil exploration in ever deeper waters and in locations far from the continent was virtually impossible to use platforms such fixed and semi-submersible oil drilling offshore. Then came an economically viable and strategically interesting move to solve this problem using single-hull ships with the conversion to FPSO platforms - Floating Production, Storage and Offloading Units. The hull used are the VLCC of the 70's and 80's, already unable to navigate according the international laws, as they were without the double bottom currently required. Will be presented in this paper the main features and procedures used in these conversions include not only the placement of new modules for exploration and production of oil, but also maintenance and improvement of networks, structures and equipment of the original vessel to ensure a longer life and without the need for conventional dockings. With the demand for oil exploration and production in several existing wells as well as the newly discovered, including the giant pre-salt, makes the major shipyards in the world to specialize more in this type conversion, this business with good growth prospects and proven profitable financial return.

Key-words: FPSO, Conversion, Ship yards, Floating Units, Oil production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Tipos de plataformas	19
Figura 1.2 – Principais equipamentos de um FPSO	20
Figura 1.3 – Gráfico FPSO.....	21
Figura 1.4 – Diagrama de produção de um FPSO	24
Figura 1.5 – Localização da camada do pré-sal ao longo da costa.....	27
Figura 1.6 – Esquema do pré-sal	28
Figura 1.7 – Evolução das profundidades exploradas	28
Figura 2.1 – Conversão de casco antigo FPSO P-50	30
Figura 2.2 – FPSO Capixaba	30
Figura 2.3 – FPSO PSVM saindo do estaleiro	31
Figura 2.4 – FPSO construído	31
Figura 2.5 – FPSO Piranema em processo de ancoragem	31
Figura 3.1 – VLCC Island Accord	36
Figura 3.2 – Unidade convertida para o FPSO P-57.....	36
Figura 3.3 – SPS – <i>Sandwich Plate System</i>	37
Figura 3.4 – Ignorar as tensões do casco tem conseqüências desastrosas.....	40
Figura 3.5 – Tração e compressão devido a momento fletor.....	41
Figura 3.6 – Tensões de Contra-alquebramento e alquebramento	42
Figura 3.7 – Distribuição do peso x empuxo	43
Figura 3.8 – Flutuabilidade de cada seção.....	43
Figura 3.9 – Representação gráfica de flexão e cisalhamento	44
Figura 3.10 – Condições de anodos no fundo do tanque	45
Figura 4.1 – Suporte para os módulos de produção	47
Figura 4.2 – Bomba de carga original	49
Figura 4.3 – Bomba de dreno original	50
Figura 4.4 – Coupler valve pronta para conectar	51
Figura 4.5 – Serpentinhas de aquecimento.....	53
Figura 4.6 – Guindastes de proa e popa	56
Figura 4.7 – Baleeira	57
Figura 4.8 – Bote de resgate com turco	57
Figura 5.1 – Travamento da máquina do leme	61
Figura 5.2 – Travamento do propulsor	61

Figura 5.3 – Gerador essencial	62
Figura 5.4 – Turbina GE LM2500	63
Figura 5.5 – Compressor de ar.....	64
Figura 5.6 – Construção dos P/V Breakers	65
Figura 5.7 – Torre de ventilação do Gás Inerte.....	66
Figura 6.1 – Instalação de um módulo de produção.....	68
Figura 6.2 – Instalação do <i>flare</i>	69

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Quantidade de aço trocado nas conversões em FPSO	78
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	Automatic Identification System
BB	Bombordo
BE	Boreste
BLS	Bow Load System
BS&W	Basic Sediments and water
BV	Bureau Veritas
CAS	Condition Assessment Scheme
CCR	Central Control Room
CCTV	Closed Circuit Television
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras
COW	Crude Oil Washing
DARPS	Differential, Absolute and Relative Positioning System
DNV	Det Norske Veritas
DP	Dynamical Positioning
DSC	Digital Selective Calling
EPIRB	Emergency Position Indicator Radar Beacon
ESD	Emergency Shut Down System
FSO	Floating, Storage and Offloading
FPSO	Floating, Production, Storage and Offloading
GPS	Global Positioning System
GMDSS	Global Maritime Distress Safety System
HF	High Frequency
HFO	Heavy Fuel Oil
HP	High Pressure
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
ICCP	Impressed Current Cathodic Protection
IMO	International Maritime Organization
IS	Intrinsically Safe
ISM	International Safety Management Code
ITOPF	International Tanker Owners Pollution Federation Limited

K	Kilômetro
KW	Kilowatts
LER	Local Equipment Room
LP	Low Pressure
M ³	Metros Cúbicos
MARPOL	Maritime Pollution Convention
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MF	Medium Frequency
MGO	Marine Gas Oil
MODU	Mobile Offshore Drilling Units Code
NDB	Non-Directional (radio) Beacon
NORMAM	Normas das Autoridades Marítimas
NT	Navio Tanque
NW	Noroeste
O ₂	Oxigênio
OCIMF	Oil Companies International Marine Forum
OILPOL	Oil Pollution International Convention
OMI	Organização Marítima Internacional
ONU	Organização das Nações Unidas
OPA-90	Oil Pollution Act 1990
OPEP	Organização dos Países Exportadores do Petróleo
PAGA	Public Adress / General Alarm
P&ID	Pipping and Instrumentation Diagrams
POB	People on Board
PSV	Platform Supply Vessel
PW	Produced Water
SOLAS	Safety of Life at Sea
SBM	Single Buoy Mooring
SMS	Spread Mooring System
SPM	Single Point Mooring
SPS	Sandwich Plate System
SRP	Sulphate Reduction Package
SSAS	Ship Security Alert System
STCW	Standard of Training, Certification and Watchkeeping for Seafares

SWL	Safe Working Load
T	Tonelada
TLP	Tensioned Leg Platform
TPB	Tonelada de Porte Bruto
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UHF	Ultra High Frequency
ULCC	Ultra Large Crude Carrier
UWILD	Underwater Inspection in Lieu of Drydocking
VHF	Very High Frequency
VLCC	Very Large Crude Carrier
VLOO	Very Large Ore Oil

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1. FPSO – UNIDADE FLUTUANTE DE PRODUÇÃO, ESTOCAGEM E TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO	18
1.1 A FINALIDADE DE UM FPSO.....	22
1.2 OS TIPOS DE FPSO	25
1.2.1 SMS (<i>Spread Mooring System</i>).....	26
1.2.2 SPM (<i>Single Point Mooring</i>)	26
1.2.3 Unidades assistidas por DP- <i>Dynamic Positioning</i>	26
1.3 ÁREAS DE OPERAÇÃO DE FPSOs	26
2. OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE FPSO	29
2.1 CONVERSÃO DE CASCOS ANTIGOS	29
2.2 CONSTRUÇÃO DE CASCO NOVOS	30
2.3 LEGISLAÇÕES PERTINENTES	32
3 CASCO E ESTRUTURAS	36
3.1 CHAPEAMENTO DO CASCO	36
3.1.1 SPS.....	37
3.2 CAIXAS DE MAR	38
3.3 PINTURA E MARCAS DO COSTADO	38
3.4 TENSÕES NO CASCO	39
3.4.1 Momento Fletor	41
3.4.2 Força cortante	43
3.5 ANODOS DE SACRIFÍCIO E PROTEÇÃO CATÓDICA.....	44
3.5.1 Sistema de proteção catódica com corrente impressa	45
4 SEÇÃO DE CONVÉS	46
4.1 PREPARAÇÃO DO CONVÉS PARA SUPORTAR OS MÓDULOS DE PRODUÇÃO	46
4.2 SISTEMA DE CARGA.....	47
4.2.1 Redes e linhas de carregamento	48
4.2.2 Bombas de carga.....	48
4.2.3 Bombas de dreno	50
4.2.4 Redes e linhas para transferência interna de carga	50
4.3 INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE OFFLOADING	51
4.3.1 Mangote de Transferência	51
4.3.2 Equipamentos de amarração.....	52
4.4 SISTEMA DE LIMPEZA DE TANQUES.....	52

4.4.1 Redes e linhas de COW	53
4.4.2 Máquinas de lavagem de tanque	53
4.5 SISTEMA DE AQUECIMENTO DOS TANQUES.....	53
4.6 MODIFICAÇÕES DA SUPERESTRUTURA INTERNA.....	53
4.7 INSTALAÇÃO DO HELIDECK	55
4.8 INSTALAÇÃO DOS GUINDASTES PARA MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS..	55
4.9 EQUIPAMENTOS DE SALVATAGEM	56
4.10 EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO E COMUNICAÇÃO.....	58
5 SEÇÃO DE MÁQUINAS.....	61
5.1 TRAVAMENTO DO LEME E PROPULSOR	61
5.2 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	62
5.2.1 Turbinas e Geradores	62
5.2.2 Caldeiras	63
5.3 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	63
5.4 SISTEMA DE GÁS INERTE.....	64
5.4.1 Caldeiras	64
5.4.2 Tanque de selagem	65
5.4.3 P/V Breakers	65
5.4.4 Mastros de ventilação e purga	65
6. MÓDULOS DE PRODUÇÃO	67
6.1 INSTALAÇÃO DOS <i>RISERS</i>	68
6.2 INSTALAÇÃO DO <i>FLARE</i>	68
7 MANUTENÇÃO NO FPSO	70
7.1 PROLONGAÇÃO DA VIDA ÚTIL.....	74
7.2 ISENÇÃO DE DOCAGEM.....	75
7.2.1 UWILD	75
7.3 PAPEL DAS SOCIEDADES CLASSIFICADORAS	78
CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
GLOSSÁRIO	84
ANEXO	86

INTRODUÇÃO

Esta monografia versa sobre as conversões de navios petroleiros em unidades flutuantes do tipo FPSO que são projetados para períodos longos de operação, sem previsão de docagem, em decorrência das limitações de movimentação e, sobretudo pelas dificuldades operacionais associadas à parada do processo de produção.

Em virtude do aumento crescente da atividade de exploração de petróleo em águas profundas e cada vez mais distantes da costa, as grandes empresas se viram na necessidade de investir em unidades tipo FPSO, que passou a ser um campo muito promissor e gerador de novas vagas de trabalho. Portanto, o enfoque deste trabalho é oferecer aos oficiais de náutica e a demais interessados uma explanação sobre a conversão de navios petroleiros, geralmente cascos simples das décadas de 70 e 80, em unidades flutuantes de estocagem e transferência – FPSO e que o mesmo sirva de guia para aqueles que venham a participar destas obras em estaleiros renomados, dentro e fora do Brasil ou até mesmo trabalharem posteriormente embarcados nestes navios-plataforma.

O primeiro capítulo aborda a finalidade e vantagens de um FPSO e como ele atua na logística de exploração do petróleo; os tipos de unidades flutuantes de produção e suas respectivas áreas de atuação.

No segundo capítulo trata das obras de construção de um FPSO seja através de conversão de um petroleiro antigo ou da construção de um novo casco e também as legislações envolvidas.

A partir deste ponto o trabalho passa a delinear quais são os principais passos na transformação de um navio em plataforma por meio de um resumo, quais sistemas permanecem originais do navio, quais equipamentos foram adaptados para o novo estilo de operação e também quais facilidades foram construídas e instaladas na unidade para que a mesma se torne uma plataforma de exploração e produção de petróleo. Dando-se destaque ao projeto da FPSO P-57, construída pela empresa SBM. A divisão será em 4 partes: Casco e Estruturas; Seção de Convés; Seção de Máquinas e Módulos de produção de óleo.

No terceiro capítulo expõe o Casco e Estrutura, explicitando o chapeamento e as caixas de mar; bem como as tensões sofridas pelo casco, as estruturas internas

dos tanques e quais reforços são necessários para satisfazer as exigências das Sociedades Classificadoras.

O quarto capítulo diz respeito à seção de Convés, que compreende o sistema de carregamento, transferência e exportação do óleo para os navios Aliviadores numa operação conhecida como Off-loading. As mudanças nas acomodações do Navio (Superestrutura Interna) serão mostradas, serão contempladas também as Instalações do Helideck e do Guindaste Offshore que desencadeia a possibilidade de embarque seguro dos tripulantes e movimentações de carga. Além desses aspectos são explicitados também os equipamentos de navegação e comunicação que permaneceram a bordo após a conversão.

O quinto capítulo é reservado para a seção de Máquinas, onde são abordadas quais mudanças foram necessárias nos sistemas de geração de energia, sistemas de ar comprimido e também o sistema de Gás Inerte. Um pequeno espaço foi aberto para explicar sobre o travamento do propulsor e do leme logo após a navegação e instalação da unidade no local de operação, onde passará os próximos 25 anos.

O sexto capítulo faz referência de forma sucinta ao Sistema de Produção do óleo, explicando sobre as instalações dos Módulos da planta de processo e dando uma rápida pincelada na instalação dos *Risers* e edificação do *Flare*.

O sétimo capítulo encerra esse trabalho com a apresentação dos aspectos de inspeção e manutenção de um FPSO, ferramentas imprescindíveis, haja vista a longa vida útil deste tipo de unidade e a dificuldade da mesma para realização de uma docagem convencional por motivos já citados anteriormente.

1 FPSO – UNIDADE FLUTUANTE DE PRODUÇÃO, ESTOCAGEM E TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO

As primeiras descobertas de depósitos de petróleo em regiões marinhas Ocorreram na costa da Califórnia nos Estados Unidos no final do século XX, Ocasionalmente a instalação de plataformas oceânicas. As primeiras plataformas Instaladas eram construídas em madeira e foram instaladas em águas rasas.

Até o final da Segunda Guerra Mundial essas estruturas tiveram pouco Desenvolvimento, sendo instaladas em águas de até 5m de profundidade e a uma Pequena distância da costa.

Em 1947, foi introduzido o conceito de Jaqueta. Estas plataformas em aço (Figura 1.1), são fabricadas em canteiro e transportadas até o local de produção onde são instaladas. A fixação no fundo do mar é realizada por meio de estacas. Em 1955, instalou-se a primeira plataforma a uma profundidade de 30 metros. Em 1959, foi concluída a instalação no Golfo do México, em águas de 60 metros de profundidade.

No Brasil, os trabalhos preliminares de levantamento geofísico surgiram em 1959. Segundo publicações oficiais (HERNANDEZ, 1997), programava-se para o Início de 1968 a operação da primeira plataforma de perfuração auto-elevatória Construída no Brasil. Em 1973, perfurou-se numa lâmina d'água de 110 metros e surgiram indícios de óleo a quatro mil metros de profundidade. Em 1974, descobriu-se óleo na Bacia de Campos em quantidade comercial: era o primeiro poço do campo de Garoupa. Em 1977, o segundo campo da Bacia de Campos começou a produzir, o Campo de Enchova. A partir daí, dezenas de campos foram descobertos, tornando a Bacia de Campos a principal província petrolífera do país. Atualmente, no Brasil, produz-se petróleo em lâminas d'água superiores à 1800m.

As estruturas oceânicas podem ser construídas em aço, em concreto ou com Uma combinação de ambos. Em lâminas d'água de até cerca de 300 metros, são Instaladas plataformas fixas tipo jaqueta (Figura 1.1) ou de gravidade.

No Caso de águas mais profundas, as plataformas fixas tornam-se inviáveis, surgindo a necessidade de se utilizar plataformas flutuantes tipo semissubmersíveis (Figura 1.1), unidades tipo FPSO (Figura 1.1) e Plataforma de Pernas Atirantadas – TLP (*Tension- Leg Plataforma*) (Figura 1.1).

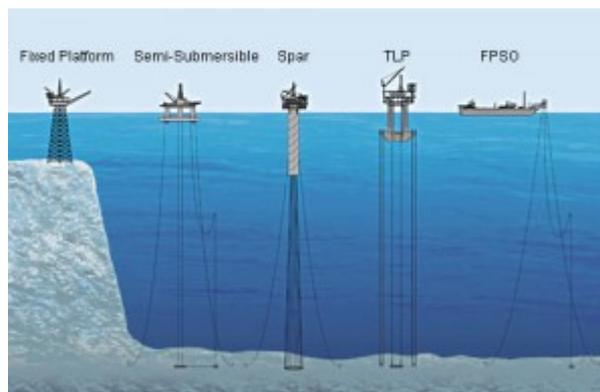


Figura 1.1 – Tipos de plataformas.
Fonte: Bolg Mercante acesso em 25/09/2011.

Os navios de produção, representados por sistemas do tipo FPSO, são constituídos a partir de um navio tanque ou balsa reestruturados para receber uma planta de produção (somente no caso do FPSO) e possibilitar o armazenamento do petróleo em função das necessidades do campo petrolífero.

Desde PETROJAL I, o primeiro navio de produção deste tipo no mundo que foi colocado em operação em 1986 no Mar do Norte, diversas unidades foram construídas ou convertidas para operarem com unidades de produção tipo FPSO. No Brasil, em 1977, um FSO foi instalado para receber e armazenar óleo em uma lâmina d'água de 116m. A primeira unidade flutuante de produção na forma de navio a operar na Bacia de Campos – Campo de Garoupa (e um dos primeiros FPSOs do mundo) foi o navio P.P. Moraes em 1979. Em 1994, a Petrobrás decidiu usar o P.P. Moraes, renomeado de P-34, como unidade-piloto para o gigantesco Campo de Barracuda.

Foi instalado então um sistema de *turret* devido ao grande número de linhas de produção (*risers*) e uma planta de processo com capacidade de processar 60,000 bpd a uma lâmina d'água de 845m (MASTRANGELO, 2000).

As plataformas de produção, representados por unidades do tipo FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading) são construídos a partir de um navio tanque reestruturados para receber uma planta de produção e possibilitar o armazenamento do petróleo, e escoamento em função das necessidades encontradas no campo petrolífero. (Figura 1.2)

Ao mesmo tempo, um constante aumento da produção na Bacia de Campos levou a uma reavaliação do sistema de exportação de óleo, devido ao sistema de oleodutos ter atingido a máxima capacidade. Para o transporte de óleo dos novos

gigantes campos de petróleo, Marlim e Albacora, as companhias decidiram optar pelo emprego de FPSOs, o qual seria mais econômico do que instalar FPSs (baseado em plataformas semissubmersíveis).

Estes sistemas são utilizados preferencialmente quando o campo está alocado em regiões onde a instalação de dutos submarinos para condução de óleo até a costa não é conveniente ou economicamente viável. Estes sistemas permitem que o óleo seja processado e armazenado para posteriormente ser escoado para outro navio, chamado aliviador, que é periodicamente conectado a este para receber e transportar o óleo até os terminais petrolíferos numa operação conhecida como *Off-loading*.



Figura 1.2 - Principais equipamentos de um FPSO.
Fonte: tncpetroleo.com.br) acesso em 17/09/2011.

Uma unidade FPSO deve realizar as seguintes funções:

- Processar óleo e gás através de sua planta de processo;
- Importar óleo e gás através do sistema de *risers*;
- Exportar óleo através do sistema de descarregamento (*offloading*);
- Exportar gás através do sistema de *risers* e dutos submarinos;
- Injetar água em poços via *risers* flexíveis e *flowlines*;
- Armazenar óleo a bordo em tanques de carga posicionados no casco da unidade;
- Manter a posição através de um sistema de amarração ou sistema de posicionamento dinâmico;
- Dispor de todas as facilidades e utilidades necessárias para manter a planta de processos em funcionamento.

Devido à necessidade de grande capacidade de armazenamento, o tipo de navio normalmente utilizado para conversões em unidade tipo FPSO corresponde aos navios do tipo VLCCs (Very Large Crude Carriers) e ULCCs (Ultra Large Crude Carriers) com capacidade entre 175,000 e 300,000 e acima de 300,000, respectivamente.

As principais empresas petrolíferas podem ver FPSOs como uma operação padronizada, tendendo a arrendar os navios em lugar de comprá-los. Quando fazem isto, as petrolíferas buscam por parceiras de serviço que compreendam a tecnologia e com quem elas possam desenvolver relacionamentos duradouros para atingir suas metas operacionais.

Diante da sua importância o uso das FPSOs tem tido um crescimento significativo desde o início dos anos 90. Segundo a ODS-Petrodata, (Figura 1.3) existiam apenas 10 FPSOs em operação em 1990 e de acordo com o gráfico abaixo, estima-se uma quantidade de 200 para o ano de 2012.

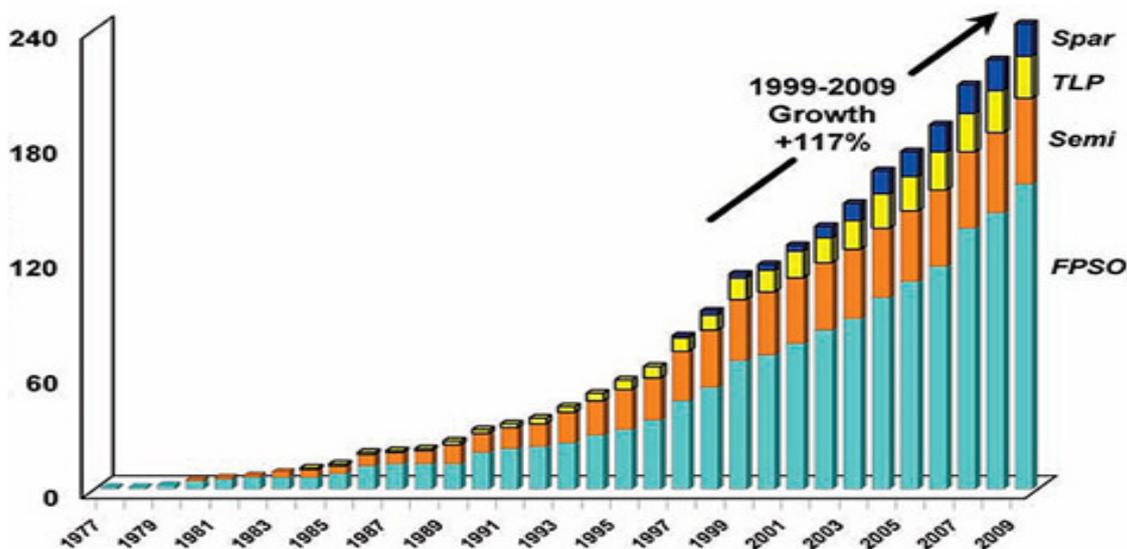


Figura 1.3 (Gráfico FPSO).
Fonte: ODS Petrodata.

Conforme Mastrangelo (2000) são características concernentes aos FPSO's o processamento de óleo e gás através da planta de processo, o armazenamento do óleo em seus tanques, e o escoamento do óleo e gás processados. A planta de processo contém equipamentos para tratamento, separação, controle da segurança e sistemas auxiliares, para processamento da mistura óleo e gás importada dos poços de produção ou, em alguns casos, recebida de outras unidades de produção.

Souza (2007) afirma que a função de importar óleo e gás é realizada pelo sistema de *risers*, que pode ser composto por *risers* rígidos e flexíveis.

A função de exportar o gás é realizada através de *risers* com utilização de compressores, e o óleo processado, por um sistema composto por bombas de carga e redes de mangotes flexíveis, em uma operação de *Offloading*. A função de injetar água é feita através de um sistema de *risers* flexíveis e *flowlines* com a utilização das bombas de injeção. (Figura 1.4)

Conforme Souza (2002), para a função de armazenamento de óleo a bordo, vários sistemas são necessários tais como: Rede de carga, calculador de esforços, sondas de níveis no interior dos tanques, sistema gerador de gás inerte, entre outros. Para manter a posição do FPSO, é necessário um sistema de ancoragem, quanto ao tipo que será utilizado, dependerá de avaliação técnica. As unidades de produção tipo FPSO podem ser permanentemente fundeadas na locação, ou possuir um sistema que possibilite a sua desconexão. O último modo é previsto quando é necessário evitar determinadas condições ambientais extremas, onde normalmente são utilizados FPSO com posicionamento dinâmico, onde se tem uma facilidade de mobilização.

As funções de uma unidade tipo FSO são as mesmas de uma unidade tipo FPSO, exceto pela planta de processos, que inexistente no FSO.

1.1 AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DE UM FPSO

Um FPSO (*Floating Production Storage and Off-loading*) é uma unidade estacionária flutuante de produção, armazenagem e descarregamento de petróleo, que está ligada a vários poços produtores e/ou a outras unidades produtoras. A sua estrutura pode ser uma nova construção representada por casco *ship-shaped* (com formato de navio) ou a de um navio petroleiro com casco singelo convertido para suportar uma planta de processo de petróleo, sistema de utilidades (geração de energia, sistema de aquecimento de água, etc...) e sistemas de suporte à vida. O FPSO tem capacidade para armazenar o óleo produzido e, após um determinado período, transferir este óleo armazenado para um navio tanque aliviador amarrado à sua proa ou popa. O sistema que permite amarrar o NT aliviador ao FPSO e efetuar a transferência do óleo, o *off-loading*. Antes de entrar nos tanques de carga o óleo

proveniente dos poços produtores passa por um processo de separação da mistura petróleo, gás e água produzida.

No final da década de 80 e início da década de 90, a Petrobras já tinha mudado a filosofia do sistema flutuante, de provisório para definitivo, pois era um sistema mais barato e de tecnologia já totalmente consagrada. Junto a esses fatores, foram descobertos os campos de Albacora e Marlim, em águas profundas (profundidades superiores a 350m), o que tornava o uso de plataformas fixas impraticável e tornava o sistema flutuante uma opção ainda mais atraente.

A indústria offshore de petróleo e gás tem conseguido produzir com sucesso a partir de campos no setor offshore em todo o mundo utilizando plataformas fixas ou sistemas flutuantes de produção (plataformas semi-submersíveis), porém como não possuem capacidade para armazenar o óleo produzido, faz-se necessário o uso de oleodutos para efetuar a transferência para um terminal em terra ou de um terminal oceânico (monobóia). Esta última opção requer a utilização de um navio aliviador por um longo período, devido a vazão de carregamento ser baixa. Desta maneira o processo fica dispendioso devido ao alto custo de afretamento de navios por longos períodos.

Na primeira metade da década de 90, o foco da discussão foi descobrir qual era a opção mais viável economicamente de sistema flutuante de produção. A conclusão foi de que o uso de FPSO's em muitos casos seria a melhor alternativa. Em outras situações, o uso de plataformas semi-submersíveis juntamente com um FSO (Floating, Storage and Offloading - unidade semelhante ao FPSO, porém não efetua o processamento de petróleo, somente a estocagem e a operação de off-loading) mostrou-se como uma boa opção. De qualquer maneira - FPSO ou FSO - surgia naquele momento uma grande demanda por navios petroleiros para serem convertidos ou construídos, e que permanece até os dias atuais. Como a frota de petroleiros naquela época já estava bem envelhecida, ou seja, a oferta de cascos velhos era grande, tornou-se economicamente viável a utilização de FPSO's em larga escala.

Duas áreas de descoberta tornaram o uso de FPSOs um método atraente de desenvolver e produzir novos campos. São as áreas de águas profundas e áreas nas quais o desenvolvimento de campos com baixa produção ou vida curta não seria econômico por meios convencionais. O uso de uma plataforma fixa ou de um sistema de produção flutuante requer um duto longo de exportação proveniente do

campo produtor até um terminal de armazenagem em terra (onshore terminal), o que requer um alto investimento. Somado a isso, a lâmina d'água ou o terreno do fundo do mar tornam esta opção inviável economicamente.

O FPSO também pode ser utilizado economicamente em pequenos campos com baixa produção ou vida curta, que podem entrar em estado de depletação dentro de poucos anos. Os custos de instalação são competitivos e o abandono ao fim da produção é de custo eficiente e substancialmente mais barato do que uma plataforma fixa. Uma vez que a capacidade produtora do campo ficar reduzida, a unidade FPSO poderá ser realocada para outro campo produtor. Em áreas sujeitas a ciclones (NW da Austrália) ou icebergs (Canadá), alguns FPSOs são capazes de desconectar as linhas de amarração e de produção (*risers*) e navegar para uma área segura. Após a normalização da situação adversa o FPSO poderá ser reconectado.

Outra vantagem do FPSO é que ele possui grande capacidade de armazenagem e processamento de óleo e gás. Este óleo é exportado por petroleiros diretamente para o cliente, sem a necessidade de antes ter que passar por um terminal em terra, diminuindo desta maneira gastos portuários. Outro fator de extrema relevância é que como o FPSO possui vazão de bombeio alta o tempo de permanência de um navio aliviador amarrado é bem reduzido, o que diminui substancialmente a quantidade de navios para este fim. Pode ser utilizado um petroleiro aliviador DP ou um petroleiro comercial convencional, porém o uso de DP é mais comum e seguro.

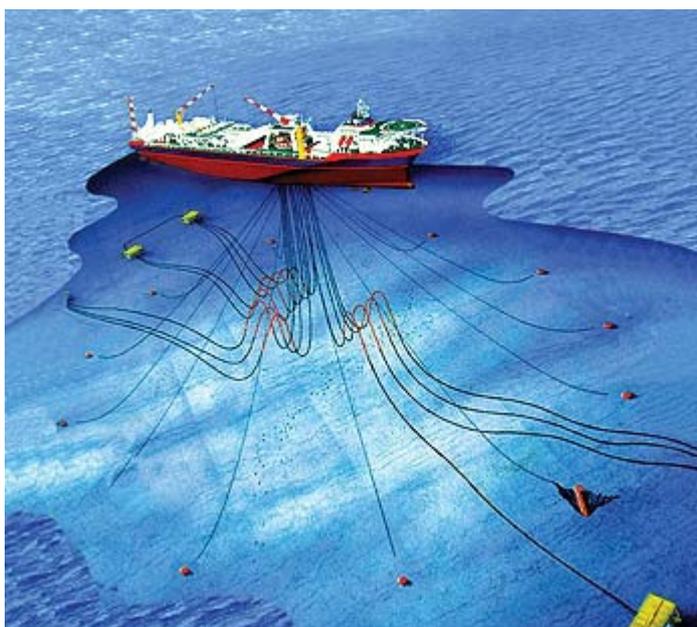


Figura 1.4 – Diagrama de produção de um FPSO.
Fonte: www.manutencaoesuprimentos.com.br.

De acordo com Souza (2002), entre as maiores vantagens dos sistemas do tipo FPSO, podem-se citar:

- Grande versatilidade na escolha do tipo do navio a ser usado e facilidade de instalação e relocação;
- Integração, dentro de um único sistema, de todas as funções necessárias à produção e processos armazenamento e posterior descarregamento do óleo para um navio aliviador;
- Área livre com grandes dimensões, facilitando o arranjo dos equipamentos de produção e utilidades;
- Simplicidade de construção, com inúmeros estaleiros habilitados em todo o mundo;
- Grande disponibilidade de volume de tanques para armazenamento da produção;
- Custo de investimento reduzido e curto prazo entre o projeto e o início da produção, principalmente no caso de conversão de navios existentes. No caso de FPSOs, o prazo de conversão é definido pelo prazo de aquisição e fabricação dos grandes equipamentos (turbo – geradores, compressores, etc.).

Como principais desvantagens dos sistemas tipo FPSO, podem-se destacar:

- Grande amplitude de movimentos, quando comparado com plataformas semi-submersíveis, no caso de condições ambientais extremas;
- Redução periódica da capacidade de armazenamento para realização de inspeções na estrutura do casco;
- Risco de grandes vazamentos devidos à grande capacidade de armazenamento de óleo;
- Risco de vazamentos durante as operações de transbordo para navios aliviadores e durante o transporte até o terminal de carga.

1.2 OS TIPOS DE FPSO

Os FPSO podem se dividir quanto ao seu tipo de posicionamento. Isto irá determinar qual tipo de aliviador que poderá ser utilizado numa operação de *off-loading*. Existem três tipos, como segue:

1.2.1 SMS (*Spread Mooring System*)

– Composto por um sistema com múltiplas linhas de amarração que estão distribuídas ao redor do casco da unidade, visando manter constante o seu aproamento;

– Ancoragem ao fundo do mar através de âncoras de arrasto, âncoras de carga vertical ou estacas;

– Linhas conectadas ao navio em pontos localizados no casco mantendo dessa forma seu aproamento praticamente fixo em relação à Terra.

1.2.2 SPM *Single Point Mooring*

É um tipo de sistema de ancoragem em que todas as linhas estão presas a uma região concentrada no casco da unidade (*turret*) e um sistema de rolamentos neste local que permite que o FPSO gire e sempre se alinhe com a resultante das cargas ambientais de vento, onda e correnteza

– Grande sensibilidade à mudança da incidência das cargas ambientais;

– Ponto de pivotamento ancorado ao fundo do mar, em torno do qual o navio pode girar no plano horizontal.

1.2.3 Unidades assistidas por DP-*Dynamic Positioning*

– Ancorados e assistidos por propulsores. São equipados com propulsores para auxiliar o sistema de ancoragem e manter um melhor aproamento da embarcação em condições ambientais mais severas;

– Não ancorados e mantidos na posição por um sistema de posicionamento dinâmico (DP). Os propulsores são acionados automaticamente contrapondo-se aos agentes ambientais e mantendo a embarcação na posição e aproamento desejados.

1.3 ÁREAS DE OPERAÇÃO DE FPSOs

As principais áreas de operação para FPSOs e FSOs são o Mar do Norte, a África, o Sudeste da Ásia, o Canadá e a América do Sul (principalmente Brasil).

Atualmente as áreas de maior crescimento são Angola e Nigéria; as duas estão desenvolvendo campos em águas profundas e com altas taxas de produção esperadas.

De acordo com Petrogas News (2011), com a descoberta da camada pré-sal (figura 1.5) o Brasil aumentará a sua frota de FPSOs. A camada pré-sal é um gigantesco reservatório de petróleo e gás natural, localizado nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (as rochas do pré-sal se estendem por 800 quilômetros do litoral brasileiro, desde Santa Catarina até o Espírito Santo, e chegam a atingir até 200 quilômetros de largura.).

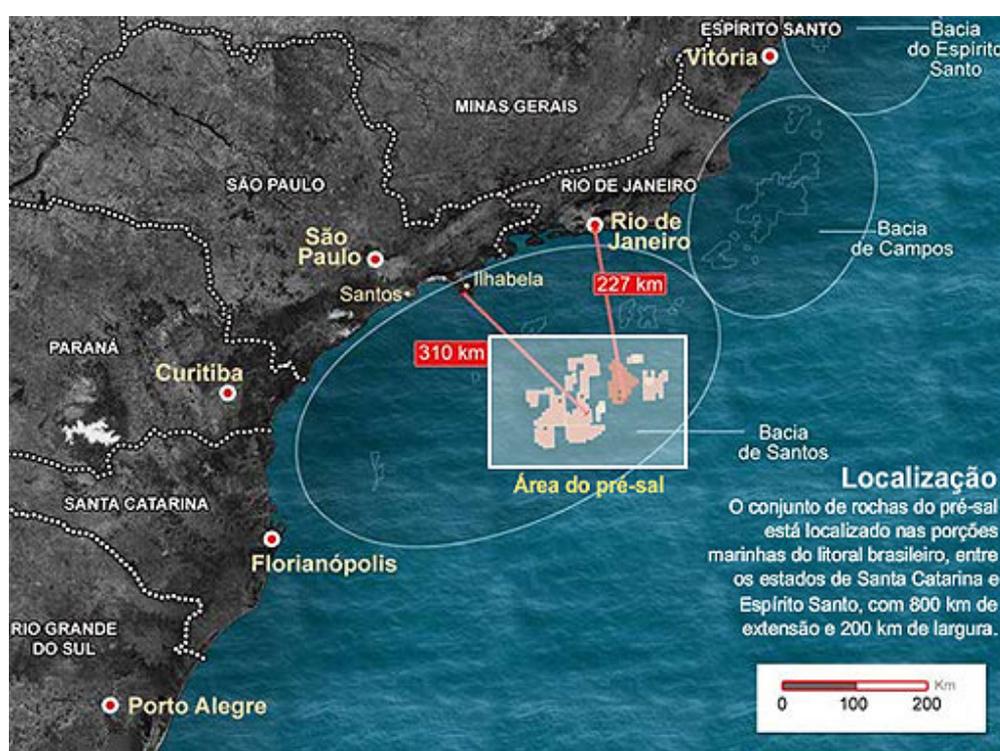


Figura 1.5 - Localização da camada pré-sal ao longo costa brasileira.
Fonte: www.petrogasnews.wordpress.com

Estas reservas estão localizadas abaixo da camada de sal (que podem ter até 2 km de espessura). Portanto, se localizam de 5 a 7 mil metros abaixo do nível do mar (figura 1.6). Os técnicos da Petrobras ainda não conseguiram estimar a quantidade total de petróleo e gás natural contidos na camada pré-sal.

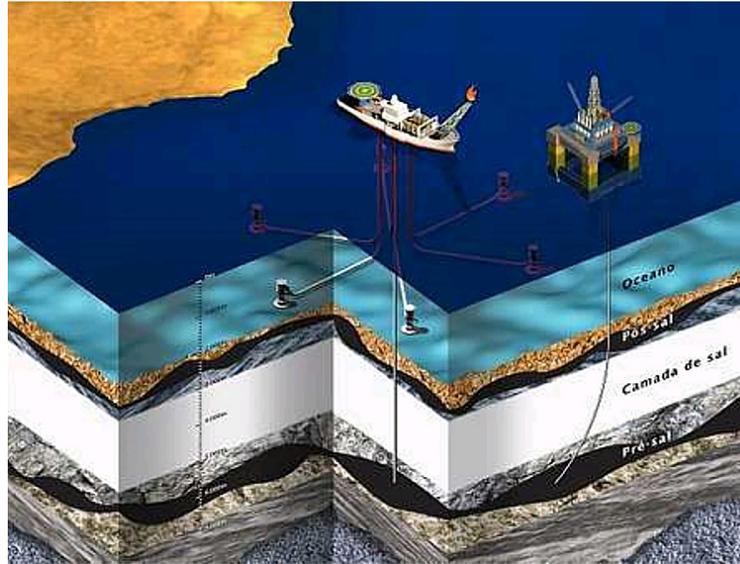


Figura 1.6 – Esquema da camada Pré-Sal.
 Fonte: <www.portalsaofrancisco.com.br>. Acesso 10/10/2011.

Em setembro de 2008, a Petrobras começou a explorar petróleo da camada pré-sal em quantidade reduzida através do FPSO P-34. Se forem confirmadas as estimativas da quantidade de petróleo da camada pré-sal brasileira, o Brasil poderá se transformar, futuramente, num dos maiores produtores e exportadores de petróleo e derivados do mundo.

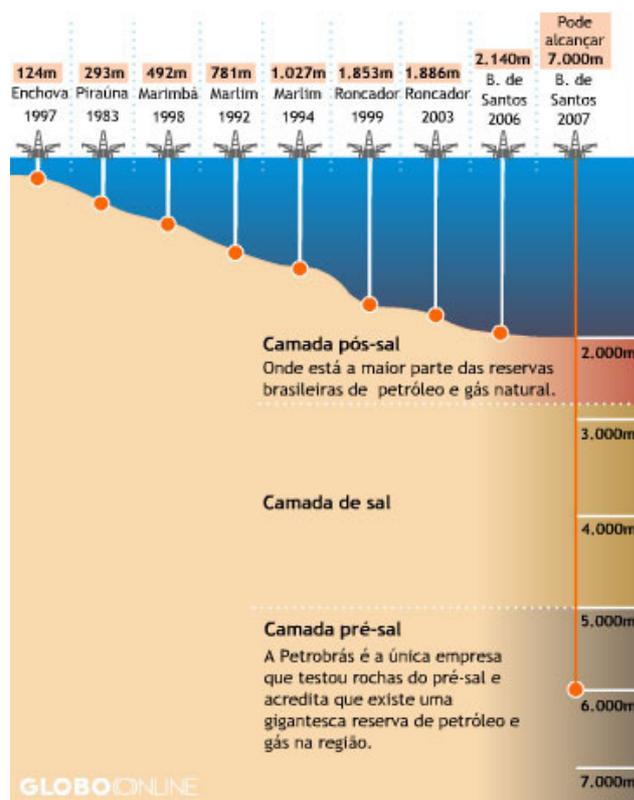


Figura 1.7 – Evolução das profundidades exploradas.
 Fonte: Globo online. Acesso 12/10/2011.

2 OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE FPSO

É crescente a demanda de navios petroleiros existentes com idade em torno de 20 anos para a conversão em unidades flutuantes de produção e armazenamento de óleo (FPSO's). Tornou-se uma excelente opção de investimento estratégico e econômico das empresas do setor de petróleo, devido ao baixo investimento adicional e tempo de conversão muito menores comparativamente ao da nova construção.

2.1 CONVERSÃO DE CASCOS ANTIGOS

Mesmo com o envelhecimento da atual tonelagem de petroleiros, ainda ocorre um considerável número de conversões. Para tornar-se um FPSO, o navio petroleiro deve sofrer grandes alterações estruturais e de equipamentos, como exemplo : instalar reforços estruturais no seu casco a fim de suportar a planta de processo logo acima, instalar heliponto, efetuar renovação de chapas e de estruturas a fim de ter uma vida útil de mais 20 anos, instalação de um complexo sistema de ancoragem, instalar guindastes, posicionar módulos de processamento de óleo acima do convés principal, instalar um sistema de exportação de óleo com linhas de mangote. (Figuras 2.1 e 2.2).

Fica cada vez mais evidente que uma quantidade substancial de estrutura de aço deve ser substituída nos cascos velhos de petroleiros durante a conversão para FPSOs, e mesmo com este extenso trabalho as sociedades de classificação ainda classificam os cascos para mais 20 anos de idade (média). Devido à extensão da vida operacional destas unidades, planejamentos cuidadosos deverão ser realizados antes da conversão ser tomada nos estaleiros. Resistência da viga-navio, corrosão e fadiga devem ser levados em consideração neste processo de planejamento, não apenas pelo estado atual da embarcação como também pela nova condição de projeto.



Figura 2.1 – Conversão de casco antigo
(Fonte : www.mauajurong.com.br)



Figura 2.2 - FPSO Capixaba – SBM (Arquivo pessoal)

2.2 CONSTRUÇÃO DE CASCO NOVOS

Muitas empresas exploradoras de petróleo chegaram à conclusão de que, apesar de economicamente mais caro, estão construindo FPSOs para dar uma vida útil antecipada de 25 anos, sendo que são projetados para atender às normas rígidas de desempenho operacional e ambiental. Um ponto importante é que uma nova unidade não estará sujeita a possíveis falhas estruturais e fadiga de material herdadas do antigo petroleiro, devido às constantes forças as quais ele estava sujeito quando estava no tráfego de transporte de óleo cru. Outro fato é que a nova unidade terá uma vida útil maior que os 20 anos geralmente atribuídos aos FPSOs que foram convertidos.

De acordo com Abreu (2006), tradicionalmente, os FPSOs nas áreas da África Ocidental e no Brasil são petroleiros comerciais convertidos, mas ultimamente a política tem sido investir em novas construções (figuras 2.3 e 2.4) para as áreas de águas mais profundas sendo desenvolvidas, principalmente na Angola e Nigéria. Essas novas formas tendem a ser do tipo barça.

De acordo com a Revista Fator (2009), um exemplo de nova construção é o projeto pioneiro do FPSO Piranema (figura 2.5), que é a primeira unidade flutuante de produção, estocagem e alívio de óleo redonda do mundo em operação, e conta com um pioneiro e exclusivo conceito de casco duplo cilíndrico que, além de assegurar estabilidade, evita possíveis acidentes de derramamento de óleo e possibilita escoamento rápido. Possui capacidade de processamento de 30 mil barris/dia de óleo e 3,6 milhões de m³ dia de gás, podendo estocar 300 mil barris. Ela foi afretada pela Petrobrás e foi instalada em Sergipe em uma lâmina d'água

de 1.450 metros. Este conceito, denominado monocoluna, também está sendo desenvolvido pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras - CENPES, por meio de um acordo de cooperação tecnológica que busca alternativas para o desenvolvimento de projeto de cascos para plataformas de maior porte para seus diversos projetos, no Brasil e no exterior. O projeto Piranema é estratégico para a Petrobras na medida em que vai aumentar a produção brasileira de óleo leve, um dos objetivos do seu Plano de Negócios, além de criar o primeiro pólo de produção em águas profundas do Nordeste do Brasil. Devido à simplicidade construtiva deste tipo de plataforma, consequência do formato circular, o seu custo final deverá ser menor o que viabilizará a produção de pequenas reservas em águas profundas. Outras vantagens deste tipo de conceito são os seus movimentos reduzidos, o que possibilita a utilização em condições severas de meio ambiente, produz menos fadiga dos equipamentos e o seu casco duplo reduz o risco de acidentes ambientais.



Figura 2.3 - FPSO PSVM saindo do estaleiro em Cingapura (Fonte : www.cargoedicoes.pt)



Figura 2.4- FPSO construído para uma finalidade específica. (Fonte : Abreu, 2006).



Figura 2.5 - FPSO Piranema em processo de ancoragem (Fonte : www.smit.com).

Finalmente, a possibilidade de se construir um FPSO novo ao invés de converter um navio existente deverá ser estudada cautelosamente. A oferta menor de navios *VLCC* e o alto preço do mercado em adquirir ou converter uma embarcação vem levando algumas empresas a pensarem em construir FPSOs novos. Como existem mais estaleiros aptos a construir cascos de FPSOs novos, este custo poderia ser mais baixo do que a construção de semissubmersíveis. Os projetos de FPSOs poderiam ser então mais otimizados, podendo ser menores com um *layout* melhor e mais seguros (casco-duplo) e conseqüentemente com um custo operacional mais baixo.

2.3 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

Após a última grande guerra, quando foi registrado um aumento da demanda mundial de derivados de petróleo, ocorreu uma expansão da frota mundial de petroleiros assim como um aumento no porte dos mesmos, passando da ordem de 20.000 toneladas para portes em torno de 200.000 toneladas nos meados da década de 70.

No segundo semestre de 1973, as previsões demonstravam claramente um crescimento da frota de petroleiros reforçado pelas importações americanas. No entanto, ocorreu uma repentina inversão devido às previsões indicando queda no consumo de petróleo e à localização de novos produtores próximos aos países consumidores. A situação gradualmente gerou um excedente de petroleiros cujo pico ocorreu em 1978 com um total de 140.000.000 tpb fora de serviço. Com a segunda crise do petróleo a situação melhorou um pouco, reduzindo para 120.000.000 tpb fora de serviço.

Embora houvesse um fortalecimento do crescimento da frota de navios de grande porte beneficiado pelo declínio da produção dos países não integrantes da OPEP e da volta do Oriente Médio como principal área de suprimento de petróleo, o uso de petroleiros de menor porte foi sustentado por três fatores: primeiro, pelo aumento do comércio de produtos finais; segundo, pela nova capacidade de produção localizada em áreas mais próximas aos mercados consumidores; e pelo fato destes petroleiros serem capazes de ancorar em um grande número de portos convencionais, incrementando o potencial para atendimento da alta demanda dos países em desenvolvimento.

Hoje os navios petroleiros têm capacidade para transportar mais de 500.000 tpb, como é o caso dos chamados ULCC (*Ultra-Large Crude Carrier*).

Em 1954, a IMO (*International Maritime Organization* - agência especializada da ONU para assuntos marítimos) já aprovava sua primeira Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Óleo – OILPOL, posteriormente MARPOL. Desde então, outras convenções foram aprovadas.

O acidente com o navio Torrey Canyon, em 1967, que provocou o vazamento de 119.000 t de petróleo bruto atingindo a costa sudoeste da Inglaterra e a costa norte da França, evidenciou a ameaça ao meio ambiente com o aumento do tráfego e porte dos navios. Mediante a gravidade da situação. A IMO, com o intuito de prevenir a poluição acidental e operacional, preconizou ações que culminaram em acordos internacionais, destacando-se a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios – MARPOL 1973, que ficou posteriormente conhecida como MARPOL 73/78 após inclusão em 1978 de alterações no texto original.

A MARPOL 73/78 inclui regulamentações referentes à subdivisão e estabilidade projetadas para assegurar que, em qualquer condição de carga, o navio possa resistir após ter sofrido uma colisão ou naufrágio. Uma das medidas implementadas foi o posicionamento dos tanques de lastro segregado¹ onde se espera o maior impacto durante uma colisão ou naufrágio reduzindo, desta forma, a quantidade de carga derramada.

A introdução da MARPOL, no entanto, não foi suficiente para impedir que novas catástrofes ambientais, como o acidente com o navio Exxon Valdez em 1989 no Alaska, viessem a ocorrer. Após o referido acidente, foi formulado, por parte dos Estados Unidos, o Oil Pollution Act de 1990 – OPA 1990 – prescrevendo o casco duplo para os petroleiros construídos a partir de então e um cronograma de retirada da ativa dos navios de casco simples.

Em 1992, a MARPOL introduziu a exigência do casco duplo para navios de 5.000 tpb ou maior, ordenados a partir de 1993, e um cronograma para conversão ou desativação de navios de casco simples a partir de 1995. Após o acidente com o navio Érika em 1999 na costa francesa (ITOPF, 2003), realizou-se uma revisão no cronograma de desativação de navios de casco simples e, em 2001, prazos menores foram estabelecidos impondo como limite o ano de 2015. Esta revisão entrou em vigor em Setembro de 2002.

A mais recente revisão do cronograma de conversão/desativação foi realizada em dezembro de 2003, motivada pelo acidente com o navio Prestige em novembro de 2002, e acelerou ainda mais a desativação dos navios de casco simples. Por esta revisão, que entrou em vigor em Abril de 2005, os navios da categoria 1 tiveram o ano de 2005 como prazo limite para adequação, e para os navios das categorias 2 e 3 o prazo foi antecipado de 2015 para 2010.

Segue abaixo, parte da transcrição do estudo feito em 2002 pela Câmara dos Deputados sobre medidas de prevenção de acidentes com navios petroleiros:

“MEDIDAS DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES COM NAVIOS PETROLEIROS

Nos petroleiros construídos com casco simples, os hidrocarbonetos estão separados da água do mar apenas pela chaparia de fundo e de costado. Se o casco sofrer avaria devido a colisão ou encalhe, o conteúdo dos tanques de carga pode derramar-se no mar e causar uma poluição significativa. Com uma segunda chaparia interna, a uma distância suficiente da chaparia externa, o “casco duplo”, os tanques de carga são protegidos contra avarias e, assim, o risco de poluição é reduzido.

Seguindo o exemplo da legislação americana, em 1992, importantes emendas foram introduzidas na Marpol, especificamente relacionadas com requisitos de casco duplo: as Regras 13F e 13G do Anexo I daquela Convenção.

A Regra 13F requer que novos navios-tanque (aqueles cuja construção tenha sido iniciada após janeiro de 1994 ou concluída após julho de 1996) de 5.000 toneladas e superiores, sejam equipados com casco duplo, separados por um espaço de até 2 metros (nos navios de até 5.000 toneladas, o espaço deve ser pelo menos de 0,76 m). Como alternativa, os navios-tanque podem incorporar o conceito *mid-deck*, pelo qual a pressão no tanque não excede a pressão hidrostática externa. Outros tipos de *design* também são aceitos, desde que assegurem o mesmo nível de proteção contra a poluição em eventos de colisão ou encalhe.

Já a Regra 13G se aplica aos navios-tanque, existentes, de 20.000 toneladas e maiores, destinados a transportar petróleo bruto, e de 30.000 toneladas e superiores, para o transporte de outros derivados de petróleo. Tais navios-tanque, que tenham 25 anos de idade e que não tenham sido construídos de acordo com os requisitos estabelecidos no Protocolo de 1978, devem ser ajustados, de forma a disporem de tanques laterais ou fundo duplo, não utilizados para o transporte de carga, em localização de proteção, ou, ainda, que só operem com carga hidrosticamente equilibrada. Os navios-tanque construídos de acordo com os padrões do referido Protocolo estão isentos dessa obrigação até a idade de 30 anos. A Regra 13G entrou em vigor em julho de 1995. Ou seja, na prática, os navios de casco simples sem tanques de lastro protetores, deixariam, a nível internacional, de poder operar a partir de 2007, ou 2012 em alguns casos. Para os navios de casco simples, mas com tanques de lastro protetores, a desativação deveria estar concluída em 2026.

Novas alterações foram aprovadas à Marpol 73/78, em 2001, por meio da Resolução nº 95 (46) da Comissão de Proteção do Ambiente Marinho (MEPC) da OMI, as quais consistem, basicamente, na antecipação da retirada de operação de navios de casco simples, bem como a classificação dos navios petroleiros em três categorias, de acordo com a respectiva tonelagem, a construção e a idade:

- Categoria 1: navios-tanque de 20.000 toneladas ou superiores, que transportem petróleo bruto, óleo combustível, óleo diesel pesado ou óleo lubrificante, e de 30.000 toneladas ou superiores, que transportem outros hidrocarbonetos, cujos tanques de carga não sejam protegidos por tanques de lastro segregado;

- Categoria 2: navios-tanque de 20.000 toneladas ou superiores, que transportem petróleo bruto, óleo combustível, óleo diesel pesado ou óleo lubrificante, e de 30.000 toneladas ou superiores, que transportem outros tipos de produtos petrolíferos, cujos tanques de carga sejam protegidos por tanques de lastro segregado;

- Categoria 3: navios-tanque de 5.000 toneladas e superiores, mas menores que os das categorias 1 e 2.

Conforme essas alterações, a data limite para a eliminação dos navios de casco simples ocorrerá entre 2003 e 2007 para os petroleiros da categoria 1 e até 2015 para os petroleiros das categorias 2 e 3. No entanto, os navios das categorias 1 e 2 só poderão operar após 2005 e 2010, respectivamente, se cumprirem as disposições do programa de avaliação do estado dos navios (CAS), programa esse aprovado pela Resolução nº 94 (46) da MEPC. Na mesma resolução, prevê-se que os petroleiros das categorias 2 e 3 continuem a operar, em determinadas circunstâncias, após a data limite de sua desativação. Entretanto, as partes da Convenção Marpol 73/78 podem recusar a entrada de navios enquadrados nessa exceção, bastando para isso, comunicar essa intenção à OMI.”

Foi nesta brecha que os navios de casco simples, principalmente VLCC's e ULCC's pelo porte, foram utilizados para conversões em plataformas FPSO e FSO, pois os mesmos já se encontram inaptos para navegar segundo a legislação vigente.

3 CASCO E ESTRUTURAS

A partir deste momento este trabalho passa a detalhar, como estudo de caso, a conversão do VLCC ISLAND ACCORD na plataforma FPSO PETROBRAS 57 feita pela empresa SBM parte no estaleiro Keppel (Cingapura) e parte no estaleiro Brasfells (Angra dos Reis).

Será resumido, sistema por sistema, o que permaneceu original do VLCC e o que foi renovado e instalado para atender à futura operação da unidade como FPSO.



Figura 3.1 VLCC Island Accord (Acervo pessoal)



Figura 3.2 Unidade já convertida para FPSO P-57 (Acervo pessoal).

3.1 CHAPEAMENTO DO CASCO

Normalmente, devido ao uso anterior do casco como navio petroleiro de linha, necessita-se uma análise compreensiva da estrutura do casco, que foi realizada para

completar os requerimentos da próxima especial de casco e para estabelecer guias de base para o aço do casco e monitoramento do mesmo.

Os resultados das inspeções de classe, juntamente com os requerimentos por parte da engenharia vão formar a base do Plano de Reparo do Aço (feito pela contratante neste caso, a Petrobras) Este plano determina os reparos do casco e os trabalhos necessários de renovação do chapeamento para a extensão da vida útil da unidade.

É uma parte muito cara da obra de conversão devido ao preço do aço.

3.1.1 SPS (*Sandwich Plate System*)

O sistema SPS é uma nova tecnologia que permite a sobreposição de chapas (principalmente) no costado sendo usado não só como reforço, mas também como a criação de um cofferdam, podendo dizer até um duplo costado. Pois o espaço entre as chapas é preenchido por uma espuma química o que descaracteriza uma simples sobreposição de chapas.

Sistema muito usado hoje em dia para duplicar o costado em áreas com potencial risco de colisão, como por exemplo, a área dos guindastes que serão usados para movimentação de cargas entre os rebocadores offshore PSV. O objetivo principal neste caso é de evitar uma poluição após uma colisão ou abalroamento sofrido durante operações de carga/descarga.

O sistema SPS foi usado para proteção do casco nas áreas dos guindastes de ré (entre as cavernas 54 e 65) e de vante (entre as cavernas 78 e 89) ambas por boreste da unidade e com uma extensão de 30 metros cada.

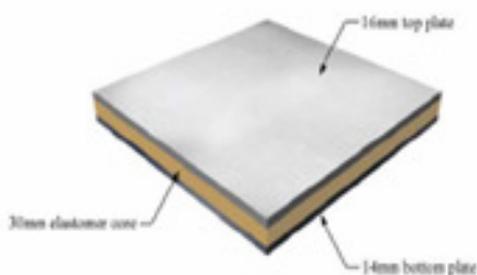


Figure 2. An SPS 16-30-14 panel

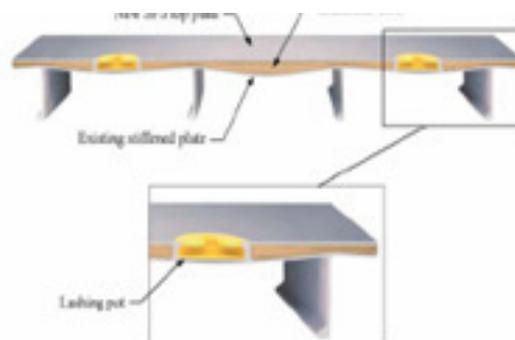


Figure 3. SPS Overlay application for a Ro-Ro Deck

3.2 CAIXAS DE MAR

Todas as sucções e válvulas de descarte para o mar, foram abertas e inspecionadas.

O trabalho cobriu, no mínimo:

- Remoção de todas as válvulas para a oficina para inspeção e reparo (caso necessário)
- Abertura e limpeza de todas as válvulas, instalação de novas juntas, gaxetas, porcas e parafusos
- Selos trocados
- Corpo das válvulas sofreram tratamento contra ferrugem e pintura
- Eixos das válvulas globo e gaveta tiveram as gaxetas renovadas
- Feito teste de pressão com a presença de um membro da Sociedade Classificadora e um membro da empresa SBM.
- Todas as válvulas foram re-instaladas a bordo e testadas com a presença das mesmas testemunhas citadas acima e deixadas na posição “fechada”.

Uma nova caixa de mar foi instalada na nova casa de bomba entre as cavernas 49 e 50. A intenção desta caixa de mar é suprir água do mar para as novas bombas de água do mar. A existente caixa de mar (antigo sistema de lastro) por boreste será conectada á duas bombas de incêndio elétricas.

Uma outra nova caixa de mar foi instalada em um coferdam à vante entre as cavernas 89 e 102 para a nova bomba de incêndio de emergência.

As duas novas caixas de mar foram soldadas e tiveram providenciadas as grades de proteção bem como a instalação das redes e dos anodos.

3.3 PINTURA E MARCAS DO COSTADO

Sistema de tratamento, revestimento e pintura externa do casco O casco externo e convés principal foram tratados por jateamento sólido e aplicado um revestimento próprio para enfrentar 25 anos de operação na localização sem a necessidade de docagem.

Marcas do costado

O casco externo foi marcado com o propósito de identificação das estruturas internas e aberturas no costado.

Todas as marcas do casco, como o nome da unidade, número IMO, marcas de calado, marcas de localização das anteparas, cavernas e aberturas foram feitas com chapas de aço e foram pintadas com camada extra de tinta epoxi e aplicada a cor branca.

3.4 TENSÕES NO CASCO

Em águas tranquilas um navio vai enfrentar forças de cisalhamento e momentos de flexão como consequência da distribuição irregular de forças de peso e forças de flutuabilidade atuando ao longo do seu comprimento.

É essencial que se tome um cuidado redobrado durante as operações de carregamento e descarregamento em um FPSO para assegurar que as tensões sejam mantidas dentro dos limites operacionais. Os procedimentos operacionais fornecem diretrizes sobre quais os limites que devem ser usados e o computador de carregamento exibe quais são as tensões reais. Se o computador de carregamento falhar ou deixar de ser confiável, as condições de carga contidas no manual de estabilidade devem ser seguidas.

Em geral, os navios com mais de 150 metros de comprimento e outros navios que são sujeitos a tensões longitudinais excessivas devem ser equipados com um calculador de carregamento para permitir que os valores das forças de cisalhamento e momentos de flexão sejam calculados para qualquer condição de carga. Normalmente este será em forma de um programa de computador que tenha sido aprovado pela sociedade de classificação para o qual um certificado de aprovação será expedido. Existem diretrizes rigorosas quanto ao uso e testes desses programas sendo que a conformidade com os regulamentos apropriados da sociedade de classificação com relação a esses programas estará sujeita à verificação durante as vistorias periódicas da sociedade de classificação.

O programa de carregamento deve ser capaz de calcular as seguintes forças de cisalhamento e momentos de flexão da longarina do casco, de acordo com os regulamentos apropriados da sociedade de classificação:

- Forças de cisalhamento de águas tranquilas;

- Momentos de flexão de águas tranquilas ;
- Forças de cisalhamento de condição de alto mar;
- Momentos de flexão de condição de alto mar;
- Momentos de torção de condição de alto mar quando aplicável.

As principais tensões que causam preocupação em um FPSO são os momentos de flexão e as forças de cisalhamento, como veremos a seguir. Ignorar essas tensões pode ter consequências imediatas ou de longo prazo (figura 3.4).



Figura 3.4 - Ignorar as tensões do casco tem consequências desastrosas.

Fonte: Apostila de gerenciamento de operações de carga e descarga em graneleiros (CLC Adilson Coelho).

O navio no mar encontra vários tipos de efeitos de carga e de forças simultaneamente, como por exemplo: o momento e cortante induzidos pelas ondas (vertical e horizontal); torção; impacto das ondas no costado, convés e fundo; as cargas estáticas do carregamento e do mar; “*sloshing*” (movimento do líquido no interior do tanque), “*slamming*” (impacto entre o navio e o mar). Tipos de esforços atuantes e efeito dos movimentos no navio. (FALTINSEN, 1990).

O navio pode ser carregado de diferentes maneiras dependendo da sua rota: totalmente cheio, parcialmente cheio ou em lastro. As cargas dinâmicas e respostas do navio dependem das condições de mar. Algumas das cargas em alguns instantes podem ser extremamente elevadas, causando uma tensão na estrutura atingindo o seu limite. As várias componentes de carga geralmente atingem os máximos valores em diferentes instantes e para diferentes localizações na estrutura. Também, a todo momento, trincas microscópicas crescem ao longo de elementos estruturais

causadas por cargas repetidas, resultando em um dano acumulado de fadiga, o qual deve ser também considerado no projeto.

A complexidade das cargas, pressões, e forças atuantes no navio FPSO, torna muitas vezes difícil a compreensão precisa de como várias cargas e coeficientes afetam, pois são unidades que estão sendo carregadas a todo momento por uma contínua produção de óleo. Porém, também existem, em paralelo, as operações de alívio, onde descarregam altas parcelas (variando de 50.000 m³ até 160.000m³) alterando bastante as condições do navio e tensões sofridas pelo casco.

3.4.1 Momento Fletor

Momentos de flexão ocorrem quando uma carga é distribuída incorretamente ao longo do comprimento do casco, principalmente quando altas cargas são colocadas nas extremidades com pouca carga no meio. Como resultado, as fibras superiores da viga aumentarão de comprimento e as inferiores serão contraídas. Em outras palavras, as fibras superiores estarão submetidas a tensões de tração e as inferiores a tensões de compressão (figura 3.5).

Sempre que uma viga semelhante à da figura seja submetida a uma carga que produza tensões de sinal contrário nas fibras superiores e inferiores, diz-se que a mesma está sujeita à flexão ou que foi aplicado à mesma um momento fletor (bending moment). Em FPSOs essas forças de flexão podem ocorrer mesmo quando os pesos estão distribuídos de forma regular, porque a distribuição da planta de processo acima do convés principal influencia nessas tensões.

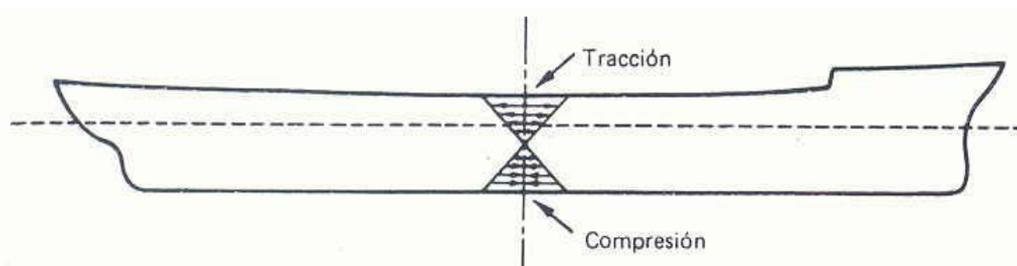


Figura 3.5 - Tração e compressão devido a momento fletor.
Fonte : Loureiro, 2008.

Até agora, foram discutidas apenas as causas de flexão longitudinal em águas tranquilas. Um FPSO bem carregado submetido à tensão mínima em águas

tranqüilas vai encontrar flexões longitudinais cíclicas ao enfrentar ondas no mar. Um cenário de caso extremo ocorre no mar quando o FPSO encontra ondas cujo comprimento de onda é igual ao comprimento do casco e ocorre qualquer um dos seguintes eventos:

- O FPSO vai ficar alquebrado quando a cava da onda é à meia nau e as cristas das ondas são nas extremidades (figura 3.6), ou
- O FPSO vai ficar contra-alquebrado quando a crista da onda é à meia nau e as cavas são nas extremidades (figura 3.6).

Ao contrário da flexão em águas tranqüilas, a flexão devido a ondas, por si só, irá alternar em direção, à medida que a onda passa ao longo do comprimento do FPSO. Os cenários de piores casos pressupostos por necessidade dos fabricantes do programa de carregamento são os seguintes, dependendo de como o FPSO estiver carregado na ocasião e do programa de carregamento sendo usado para cálculos de tensões:

- Um navio inicialmente alquebrado em águas tranqüilas encontrando uma “onda de arqueamento” no mar; ou
- Um navio inicialmente contra-alquebrado em águas tranqüilas encontrando uma “onda de alquebramento” no mar.

Engenheiros de projeto farão suposições sobre o perfil da onda a ser encontrada pelo FPSO que irá criar os momentos piores de flexão longitudinal.

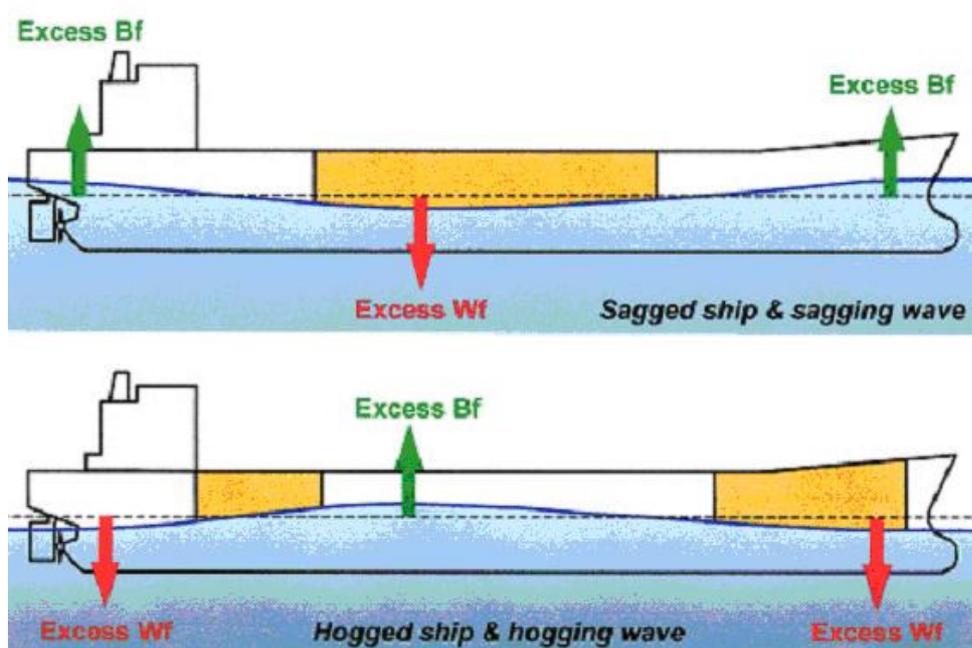


Figura 3.6 - Tensões de contra-alquebramento e alquebramento.
Fonte: Abreu, 2006.

3.4.2 Força cortante

Um navio que se encontra flutuando em águas tranqüilas está sujeito a forças de empuxo e pesos. A representação da figura 3.7 mostra um navio dividido por quatro anteparas estanques. Para cada uma destas seções considera-se a força de peso e de empuxo como sendo uniformes ao longo da seção.

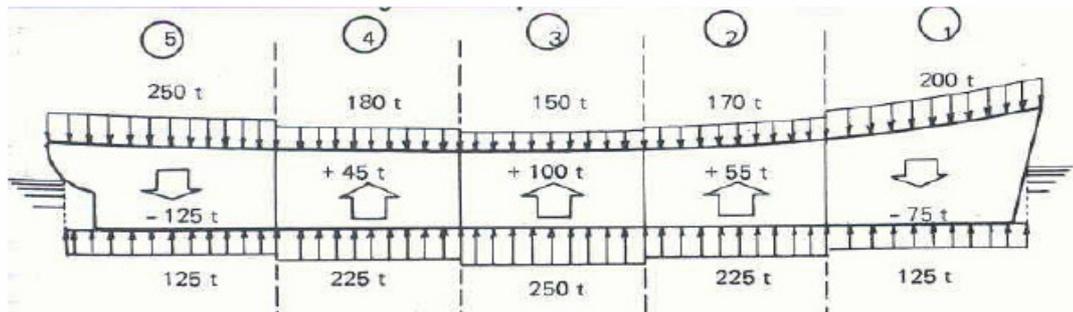


Figura 3.7 - Distribuição do peso x empuxo ao longo do navio
Fonte : Loureiro, 2008.

Se agora o navio fosse cortado nas quatro anteparas, cada uma das seções flutuaria em um calado diferente. A linha pontilhada da figura 3.8 representa a linha de flutuação original.

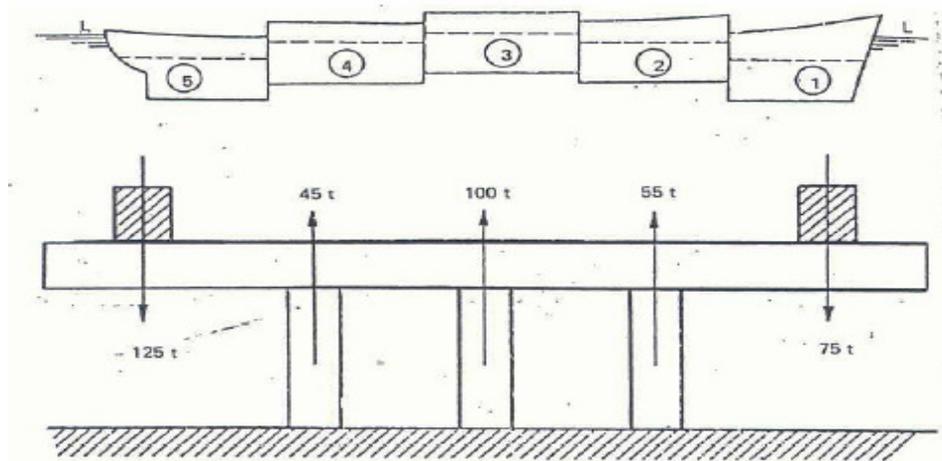


Figura 3.8 – Flutuabilidade de cada seção.
Fonte : Loureiro, 2008.

Como o navio encontra-se íntegro, é evidente que entre cada uma das seções existe uma força que as mantém unidas. Esta força é chamada de força cortante (*shear force*). Os valores máximos da força de cisalhamento surgirão nas posições nas quais as cargas mudam de direção, estando nas posições de anteparas.

Embora os valores reais das forças de cisalhamento (em toneladas) e dos momentos de flexão (em toneladas métricas) sejam dados para posições ao longo do comprimento das embarcações, muitas vezes eles têm pouca relevância para o operador. É a representação gráfica das curvas da força de cisalhamento e do momento de flexão (figura 3.9) exibidas junto com as curvas representando os valores máximos permitidos para águas tranquilas (porto) e condições de alto mar, que irá fornecer ao usuário o verdadeiro estado de carregamento do FPSO.

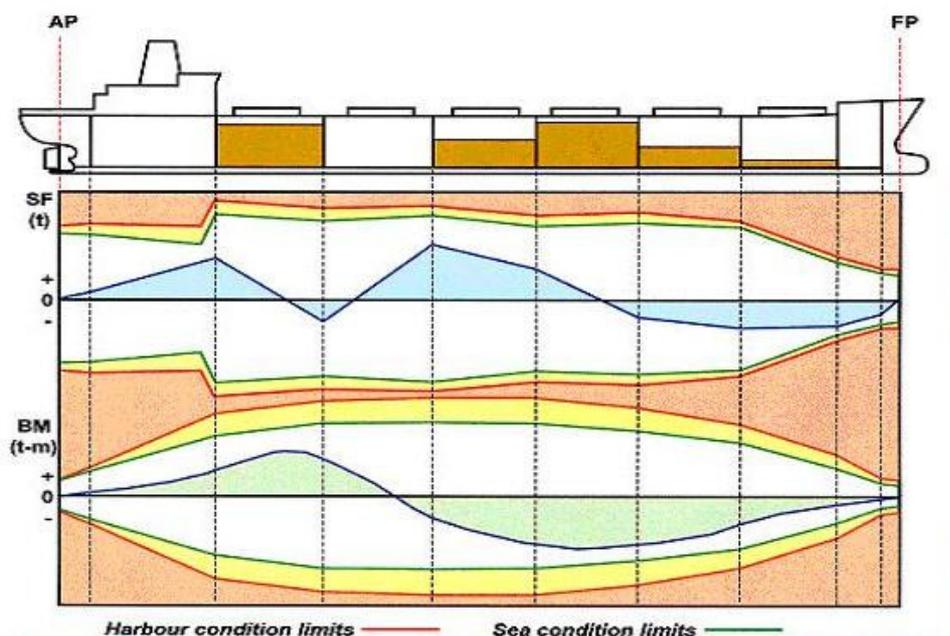


Figura 3.9 - Representação gráfica das forças de flexão e de cisalhamento.
Fonte: Abreu, 2006.

3.5 ANODOS DE SACRIFÍCIO E PROTEÇÃO CATÓDICA

Um sistema de anodos de sacrifício foi instalado para proteção das sucções das caixas de mar, tanques de carga, slops e tanques de decantação. Estes anodos foram instalados por meio de arranjos com estojos no formato “U” em suportes de aço soldados à estrutura do tanque para permitir reposição no local. Foram instalados anodos de Zinco.

Para uma proteção nas caixas de mar foram instalados anodos de modo que sua reposição seja feita por mergulhadores, quando necessário.

Os anodos deverão proteger, além das caixas de mar, os tanques de carga, na seguinte configuração:

- Tanques de carga: Fundo e áreas verticais até 2 metros acima do fundo; (Figura 3.10).

- Tanques de resíduo (SLOP): Fundo e áreas verticais até 0,5 m abaixo do convés
- Tanques de decantação (*Settling*): Fundo e áreas verticais até 0,5 m abaixo do convés.



Figura 3.10 Condição de anodos no fundo do tanque antes e após viagem em lastro (acervo pessoal)

3.5.1 Sistema de Proteção Catódica com corrente impressa

Um sistema de ICCP (*Impressed Current Cathodic Protection*) Sistema de Proteção Catódica com Corrente Impressa foi instalado na seção de vante e outro na seção de ré do FPSO para proteger contra ferrugem, a parte externa do casco, as amarras, de acordo com práticas da SBM.

As células de referência para os anodos foram instalados em posição e com material que possibilita a troca a ser realizada por mergulhadores.

4. SEÇÃO DE CONVÉS

Entende-se por seção do Convés toda a área do convés principal, acomodações internas e externas e Helideck.

Veremos neste capítulo as principais modificações do departamento de convés para adaptar ao novo estilo de operação de um FPSO.

4.1 REPARAÇÃO DO CONVÉS PARA SUPORTAR OS MÓDULOS DE PRODUÇÃO

Reforços nas fundações e suportes foram providenciados para suportar os módulos e estruturas elevadas no convés.

Estes suportes foram instalados no convés superior e irão sustentar:

- O Helideck no convés à ré
- A torre dos queimadores
- O carretel do mangote de exportação e o carretel do cabo sanson
- Os mastros de ventilação e purga
- Algumas bandejas das bombas de processo
- Equipamentos de instalação e ancoragem
- Os pacotes de medição e fluxo e medidores fiscais
- Unidade hidráulica

Instalados suportes para os módulos de processo

Colunas de aço foram instaladas no convés principal para o suporte dos novos módulos de produção. (Figura 4.1).

Todas as colunas foram instaladas antes da instalação dos módulos e foram posicionadas sempre em pontos reforçados do convés, nas anteparas transversais e cavernas gigantes.

Após a instalação dos novos módulos foram instaladas também escadas de acesso e de emergência para os mesmos.



Figura 4.1 – Suporte para os módulos de produção instalados no convés (acervo pessoal)

4.2 SISTEMA DE CARGA

A estocagem de óleo no FPSO inicia-se após o óleo proveniente dos poços ter passado pela planta de processo, onde há separação trifásica : óleo, gás e água produzida. Após, este óleo segue para os tanques de carga com o valor de BS&W < 1,0 %. BS&W é a sigla para “Basic sediments and water”, que é a medida em base volumétrica da concentração de água e sólidos presentes no óleo. Os tanques de armazenagem devem ser inertizados com antecedência e ter um teor de oxigênio na atmosfera do tanque de menos de 8% por volume. O processo de recebimento de óleo proveniente da planta de processo para os tanques de carga pode ser feito por gravidade ou através de bombas, sendo que para cada tanque existe um conjunto de válvulas de alinhamento.

O sistema de gás Inerte e de ventilação é parte integrante do sistema de manuseio de carga do FPSO e deve ser operado de modo que uma atmosfera não-inflamável (teor de O₂ < 8% por volume) seja mantida nos tanques de óleo de carga e de tanques de resíduos, exceto quando for necessário que os tanques estejam livres de gás para inspeção. O sistema de ventilação do gás inerte alivia a pressão excessiva dos tanques de resíduo e de carga durante o carregamento de óleo por meio da linha de suspiro para a atmosfera em um local seguro.

De acordo com Accioly (1996), um FPSO normalmente é equipado com dois geradores de gás inerte e o sistema deve poder fornecer 125% da capacidade total de descarregamento a fim de evitar o vácuo nos tanques de carga.

Em um FPSO a forma de geração de gás inerte varia de unidade para unidade. Algumas trabalham com os gases de descarga de caldeiras e outras trabalham com unidades geradoras de gás inerte, que utilizam os gases provenientes da combustão de gás combustível e óleo diesel. Estas unidades têm uma grande vantagem, pois produzem um gás mais limpo e com menos contaminantes.

Geralmente durante a estocagem de óleo não é necessário utilizar o sistema de geração de gás inerte, pois a pressão nos tanques é mantida através dos vapores emanados pelo petróleo produzido.

Em FPSOs a temperatura do óleo estocado é medida através de três sensores montados no interior do tanque, de modo que sejam verificados os valores no topo, meio e fundo do tanque e, desta maneira, seja obtida uma média com estes valores.

4.2.1 Redes e linhas de carregamento

As modificações feitas no FPSO para o sistema de carregamento foi completa, já que o manifold de carga do navio original foi desativado e agora o óleo recebido nos tanques de carga vem direto da planta de processo e após um manifold que direciona o óleo produzido para os tanques de vante ou de ré pode se escolher qual o tanque será carregado, já que, especificamente nesta unidade, todos os tanques possuem linhas de carregamento individuais.

4.2.2 Bombas de carga

As seguintes bombas estão instaladas na Casa de Bombas

– 3 bombas centrífugas movida à uma turbina a vapor: cada uma com capacidade para 5.000 m³/h. (Figura 4.2)

As 2 bombas de lastro existentes no VLCC com a capacidade de 3.000 m³/h foram demolidas durante a conversão.



Figura 4.2 – Bombas de carga original do VLCC (Acervo pessoal).

Um refabricamento completo das bombas de carga foi feito, incluindo todos os elementos de segurança e parada de acordo com o manual de manutenção do fabricante. O escopo do trabalho cobriu:

- Antes de iniciar a desmontagem, foram medidas e registradas todas as folgas dos rolamentos e impelidores.
- Foram marcados e retirados todos os eixos intermediários entre as bombas e as turbinas. Os eixos foram transportados para a oficina e examinados contra danos. O acoplamento interno e externo tiveram os dentes checados com líquidos penetrantes (para a percepção de trincas).
- Os eixos foram dinamicamente balanceados
- Os sensores de vibração e temperatura foram retirados.
- As bombas foram abertas (na locação) e tiveram o corpo (voluta) desconectada dos filtros de sucção e dos suportes e levadas para oficina.
- As bombas foram desmontadas, limpas, inspecionadas e tiveram as partes calibradas (se necessário).
- Após a remontagem, as bombas foram testadas por solicitação da Sociedade Classificadora.
- Selos mecânicos foram renovados.
- A bomba foi testada com carga total e feita a análise completa de vibração com a presença de um representante da SBM. Foram registrados todas as temperaturas dos mancais e rolamentos e também as pressões. Todas as paradas de emergência foram ajustadas e testadas na presença de um *surveyor* da classificadora para testemunhar a operação.

4.2.3 Bombas de Dreno

Uma bomba de dreno à vapor tipo deslocamento positivo, com a capacidade de 400m³/h com 150 m de linha, foi mantida na casa de bomba. Mesma localização original. (Figura 4.3)



Figura 4.3 – *Stripping pump* (bomba de dreno) original (Acervo pessoal).

4.2.4 Redes e linhas para transferência interna de carga

O sistema de carga original (redes e válvulas) instalados nos tanques de carga e slop foram substituídos por um novo sistema. O arranjo original nos tanques foi modificado e estendido para adaptar aos novos requerimentos para operação do FPSO.

Todas as redes do convés principal foram removidas.

As redes e válvulas da casa de bomba foram modificadas de acordo com o descrito abaixo:

O sistema de carga (redes e válvulas), dreno e esgoto instaladas na casa de bomba foi redesenhado para o serviço do FPSO.

Um sistema para unificação do sistema novo com o sistema existente para evitar conflitos na estrutura da casa de bombas existente foi atingido restando o layout antigo o máximo possível. (Penetrações das anteparas e suportes de redes).

As novas redes ficaram livres dos obsoletos “T”s, joelhos e flanges cegos que poderiam acelerar as corrosões.

4.3 INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE *OFFLOADING*

Offloading é uma das mais importantes e arriscadas operações do FPSO, onde a aproximação de um navio tanque na proa ou popa pode chegar a 100 metros e o bombeio de óleo oferece risco de poluição a todo o momento.

Por isso a instalação dos equipamentos de *offloading* é uma parte fundamental na conversão bom como a sua constante manutenção durante a vida útil da unidade.

4.3.1 Mangote de Transferência

A carga será exportada para os navios aliviadores via um sistema de exportação com uma linha da casa de bomba com uma válvula tipo esfera com fechamento em emergência, o carretel e o mangote flutuante e um cabo de retenção conectado ao mangote.

O mangote flutuante foi equipado com uma conexão especial (Coupler valve – Figura 4.4) que será engatado na proa do navio aliviador – BLS (*Bow Load System*).

Entre os *offloadings* o mangote é armazenado em um carretel que é operado hidraulicamente. Após cada *offloading* o mangote de exportação é lavado com água do mar e tem a água oleosa de resíduo enviada para o Slop.

Cada mangote de *offloading* (a P-57 tem duas estações de *offloading*, uma na proa e uma na popa) é flutuante, tem 230 metros e o diâmetro interno de 20” e atende aos requerimentos da OCIMF.

Em caso de emergência um mangote de conexão (que foi suprido pela PETROBRAS) pode ser conectada numa plataforma localizada na proa da unidade.



Figura 4.4 – Coupler valve pronta para conectar no BLS do navio.
Fonte : Abreu , 2006.

4.3.2 Equipamentos de amarração

A âncora de bombordo, bem como seu molinete e sistema de travamento foram demolidos. A Âncora de boreste permaneceu a bordo e será reutilizada caso necessário.

Os cinco (5) guinchos de amarração existentes do navio original foram demolidos, permanecendo somente um guincho hidráulico na popa e o guincho / molinete de proa BE, para auxiliar nas manobras de amarração do navio aliviador e manuseio do mangote e cabo sanson.

Todos os olhais foram inspecionados e os testes de carga refeitos.

Os guinchos hidráulicos do convés principal foram retirados. Todos os guinchos de amarração que ficaram à bordo foram criteriosamente inspecionados (para o mangote e sanson das estações da proa e popa).

Depois dos reparos os guinchos foram testados e os cabos do tambor com o teste de carga e de frenagem foram feitos e certificados emitidos. (Testes feitos de acordo com o manual do fabricante antes da saída do estaleiro).

4.4 SISTEMA DE LIMPEZA DE TANQUES

O sistema de COW – Crude Oil Washing (*Lavagem de Óleo*) original foi renovado para permitir uma lavagem em circuito fechado e utilizando água aquecida para o COW realizado entre as operações de *offloading*.

4.4.1 Redes e linhas de COW

As redes para o sistema de Lavagem com Óleo Cru foi renovado e agora feito de aço carbono. Reparar que serpentinas de aquecimento foram instaladas em alguns tanques de carga, Slop e Tanques de Água Produzida para aquecer o líquido que será usado em cada operação.

O desenho e layout antigo do sistema de COW foram usados para instalação do novo sistema, incluindo as máquinas novas.

4.4.2 Máquinas de lavagem de tanque

O FPSO teve máquinas fixas de fundo e de convés novas instaladas para o novo sistema de limpeza.

4.5 SISTEMA DE AQUECIMENTO DOS TANQUES

As serpentinas de aquecimento foram necessárias no tanque de HFO, Decantação, Tanque de óleo lubrificante, de Combustível e de Resíduos, foram instaladas e testadas de acordo. (Figura 4.5).

Todas as serpentinas existentes nos tanques de carga e slops foram removidas, substituídas por novas e testadas e visualmente inspecionadas quanto à integridade.

Todas as válvulas do sistema de aquecimento, localizadas no convés principal foram inspecionadas, abertas e tiveram as juntas e estojos substituídos por novos.



Figura 4.5 – Serpentinas de aquecimento dentro de um tanque de carga (Acervo pessoal).

4.6 MODIFICAÇÕES DA SUPERESTRUTURA INTERNA

O bloco da superestrutura foi aumentado. E para acomodar um novo POB (*People on board* – Pessoas a bordo) de 110 até 180, algumas modificações se tornaram necessárias. Todos os tripulantes serão acomodados em camarotes com duas ou quatro camas, alguns em camarotes individuais com banheiros individuais.

As escadas internas foram relocadas para o centro da acomodação, As portas não-estanques das acomodações que normalmente estavam apresentando

corrosão, ficaram além de reparo e foram substituídas por novas, incluindo os batentes.

Os camarotes tiveram os banheiros conjugado instalados exceto para os camarotes individuais e os de 4 pessoas, que se torna difícil a divisão com outra cabine.

De acordo com a regra de Classe, a acomodação foi protegida com uma antepara de vante equivalente ao padrão H-60. Todas as vigias continuaram nas mesmas posições.

4.7 INSTALAÇÃO DO HELIDECK

Um novo convés para o helicóptero foi instalado à ré da estrutura da chaminé para prover uma estrutura segura para pouso de aeronaves no FPSO. Este convés está apto a receber várias aeronaves incluindo o Sikorsky S-92 e o S-61 e foi desenhado para atender os regulamentos brasileiros (NORMAM).

Foi instalado também um sistema independente para combate à incêndio no *Heli-deck*. Este sistema compreende 3 monitores de espuma para cada entrada no convés. Cada monitor tem seu tanque de espuma individual e misturados. Um hidrante também foi instalado em cada acesso ao *Heli-deck*.

4.8 INSTALAÇÃO DOS GUINDASTES PARA MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS

Os guindastes de carga foram instalados no convés principal por boreste para a transferência de materiais e pessoas de barcos posicionados a contra bordo da unidade em situação de DP (*Dynamic Position* – Posicionamento Dinâmico). (Figura 4.6)

O primeiro guindaste de BE (Boreste) é um do tipo articulado e foi instalado próximo ao convés de carga no Módulo 15. Este guindaste Diesel-Hidráulico tem como características operacionais:

- 15t @ 18m cargas de fora da unidade
- 10t @ 35m cargas dentro da unidade
- 7.5 t @ para qualquer ângulo de lança (preparado também para içamento de pessoal)

O Segundo guindaste foi instalado à vante, próximo ao Módulo de Compressão de Gas, também de operação diesel-hidráulica, porém do tipo lança fixa e tem como características:

- 20t @ 20m cargas de fora da unidade
- 21.6t @ 35m cargas dentro da unidade
- 7.5 t SWL @ any angle (ângulo de lança (preparado também para içamento de pessoal)).



Figura 4.6 – Guindastes da proa e popa (Acervo pessoal).

Um sistema de defensas Yokohama foi providenciado para a operação com barcos *Supply* – Supridores e operação com barcos fornecedores de *Bunkers* - combustíveis (este último somente no guindaste de ré do tipo lança articulada.

Este sistema consiste de 3 defensas flutuantes de borracha com: 2.5m de diâmetro e 4 metros de comprimento e com pneus instalados para proteção.

Cabeços e buzinas foram instalados para guiar e conectar as correntes que prendem as defensas.

4.9 EQUIPAMENTOS DE SALVATAGEM

Itens de segurança e salvamento foram providenciados para um POB máximo de 180. Todos os itens cumprem com o regulamento vigente da convenção SOLAS. Para cumprir as regras internacionais para operação costeira alguns itens de salvatagem tiveram que ser substituídos por novos.

Um total de 4 Baleeiras do tipo totalmente fechada e com motor de propulsão foram instaladas, duas em cada lado da acomodação e com o turco tipo gravidade no convés A. (Figura 4.7). Os turcos têm guinchos e motores elétricos classificados para área perigosa e completamente estanque.

De acordo com as regras de Classe cada baleeira instalada tem a capacidade de 90 pessoas.

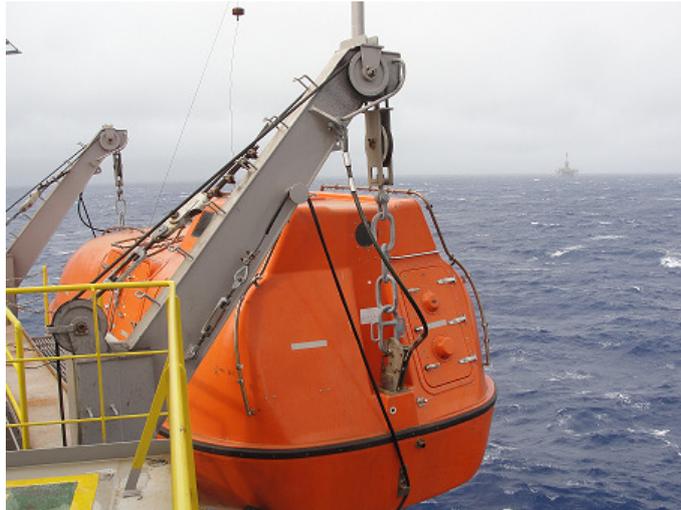


Figura 4.7 – Baleeira (Acervo Pessoal).

Seis (6) novas balsas salva-vidas foram instaladas em cada bordo do bloco A da superestrutura externa para cumprir o requerimento SOLAS.

Tiveram também duas (2) balsas para 6 pessoas instaladas em cada bordo na proa.

Um bote de resgate para 6 pessoas – do tipo aprovado pela SOLAS – foi instalado no convés principal por BB (Bombordo) à vante das acomodações com o seu turco próprio. (Figura 4.8)

Nota: em geral, baleeiras com menos de 9 metros podem ser usadas como bote de resgate, porém as baleeiras instaladas na P57 são para 90 pessoas e têm 10 metros de comprimento, por isso a instalação de um bote foi necessária.



Figura 4.8 – Bote de Resgate com turco (Acervo pessoal)

4.10 EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Todos os equipamentos de comunicação no passadiço foram re-usados. Alguns equipamentos foram retidos e outros desmontados e substituídos por novos.

Na comunicação interna um novo sistema de comunicação PAGA (Public Adress / General Alarm – Fonoclama e alarme geral) foi instalado para facilitar os anúncios de rotina e de emergência e ainda possui alarmes sonoros e visuais.

Um novo sistema de telefones foi instalado, incluindo redes separadas para o cliente e para a SBM.

Um novo sistema de CCTV (*Closed circuit TeleVision* – Sistema fechado de televisão) foi instalado inclusive câmeras com infra-vermelho para as estações de Offloading.

O monitor de controle fica no CCR.

Comunicações externas:

O console do radio GMDSS foi inspecionad e instalados na sala de rádio do deck A. Uma estação temporária foi criada no passadiço somente para o período de navegação.

Equipamentos re-utilizados:

- GPS
- AIS
- Gyro
- S-Band Radar
- X-Band Radar
- Inmarsat B
- Navtex
- EPIRB
- GMDSS Rádios Portáteis
- SART (9 GHz)
- VHF DSC
- MF/HF DSC
- Inmarsat C
- SSAS

Os seguintes novos equipamentos foram instalados:

- 1 Dual NDB
- 2 VHF Aeronauticos
- 1 Console de radio
- 1 5 canais de repetidora UHF
- 30 rádios UHF portáteis e IS(Intrisically Safe –Intriscicamente seguros) incluindo baterias e carregadores
- 6 rádios VHF portáteis e IS(Intrisically Safe –Intriscicamente seguros) incluindo baterias e carregadores
- 2 VHF Aeronauticos portáteis, incluindo baterias e carregadores
- 1 sistema de telemetria para o Offloading
- 3 Sistemas de referência para o posicionamento dinâmico (DARPS, ARTEMIS e Fam beam)

A agulha giroscópica antiga será re-usada para prover a informação do aproamento para a viagem, sistema de meteorologia, INMARSAT B e antena do sistema de entretenimento.

As Luzes de navegação existentes foram inspecionadas e retidas para uso durante a viagem do estaleiro em Cingapura até o Brasil de acordo com as regras da classe.

Isto inclui as luzes de navegação instaladas na popa, acomodações e no castelo de proa da unidade.

De acordo com as regras da IALA para estruturas offshore os seguintes equipamentos foram instalados na unidade:

- Duas (2) luzes brancas de obstruções lampejando o Código Morse letra “U”. Uma luz foi montada à vante e outra à ré, assim, pelo menos uma será visível durante a aproximação de embarcações de qualquer direção.

- Duas (2) buzinas de cerração que emite o sinal Morse da letra “U”.

As luzes do *Heli-deck* foram instaladas para cumprir com os regulamentos brasileiros e códigos estatutórios padrões. Luzes de perímetro unidirecionais, holofotes e 2 birutas cm iuminação. O sistema de controle remoto fica no passadiço.

Um sensor solar foi instalado do lado de fora, sem interferência de luz artificial para a operação automática das luzes de obstruções.

Foram adicionadas também, luzes de obstruções na estrutura do flare, lança dos guindastes, topo da chaminé e torre de telecomunicações.

5 SEÇÃO DE MÁQUINAS

A seção de máquinas foi reduzida aos seguintes sistemas: propulsão e governo, grupo geradores de energia, sistema de ar comprimido e gás inerte.

5.1 TRAVAMENTO DO LEME E PROPULSOR

Esta unidade de FPSO navegou do estaleiro em Cingapura até o local de continuação da conversão, estaleiro Brasfells em Angra dos Reis, por meios próprios de propulsão.

A unidade FPSO navegou até a locação usando o sistema de propulsão principal existente. A propulsão principal e sistema de governo do FPSO será desmobilizado após a chegada no local de operação no Brasil. O leme será fixado por um arranjo de travamento adequado

O leme do navio ficará permanentemente travado na posição “a meio” fixando a máquina do leme após a chegada na locação.

Os cilindros da máquina do leme deverão ser fixados para não permitir lazeira. (Figura 5.1)

O propulsor do navio foi imobilizado na chegada da embarcação no local de operação. A rotação do hélice foi bloqueado usando um arranjo de fixação aparafusado. Este arranjo deverá ser integrado à estrutura do navio por uma fundação adequada. (Figura 5.2).



Figura 5.1 – Travamento da máquina do leme após navegação (Acervo Pessoal).

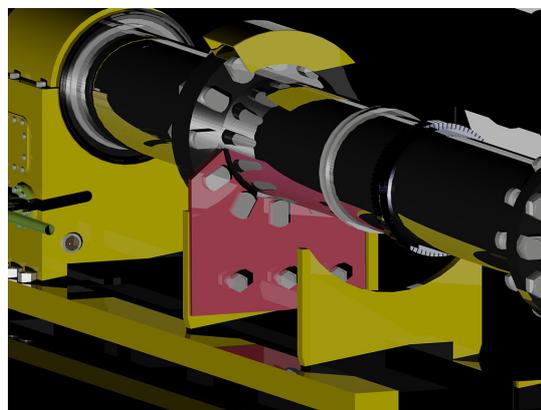


Figura 5.2 – Travamento do propulsor após navegação

5.2 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Três (3) conjuntos de alternadores principais à Diesel de 800 kW, Daihatsu, foram substituídos por um novo Gerador essencial de 1800kW. (figura 5.3).



Figura 5.3 – Gerador essencial de 1800Kw (acervo pessoal)

Um gerador de emergência de 250Kw à diesel foi substituído por um novo gerador de emergência também de 1800 kW.

5.2.1 Turbinas e geradores

Instalado dois novos geradores diesel da Caterpillar um de emergência e um essencial com 1800 Kw cada.

Para o Top Side (Módulos de produção) e geração de energia do navio foram instaladas 4 turbinas GE com 25MW (Figura 5.4). Estas turbinas podem usar tanto diesel quanto gás, o que for mais conveniente, valendo salientar que este gás usado é o gás combustível reaproveitado do processo, isentando a unidade de qualquer custo, caso contrário do diesel que tem um alto custo.



Figura 5.4 - Turbina GE – LM2500 (Acervo pessoal)

5.2.2 Caldeiras

A unidade conta com duas caldeiras auxiliares MAC-45B com a capacidade de produzir 45.000 kg/hr @ 16 bar de vapor saturado.

As duas caldeiras auxiliares existentes foram mantidas à bordo para gerar vapor para os usuários do convés. Foram convertidas as duas caldeiras para funcionamento de combustível triplo (HFO, MGO e Gás).

Uma inspeção detalhada nas caldeiras foi feita para assegurar os 25 anos de vida útil.

O sistema de vapor produzirá um vapor com baixa pressão para os seguintes consumidores:

- Três (3) turbinas das bombas de carga
- Serpentinhas de aquecimento do tanque de decantação e slop
- Serpentinhas de aquecimento dos tanques de carga
- Usuários da praça de máquinas e sistema de utilitários

5.3 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

Três (3) novos conjuntos de compressores de ar foram instalados para fornecer ar de instrumento e ar de serviço para todo o navio e os consumidores do *topside*.

Um dos compressores de ar original do VLCC foi mantido à bordo para prover ar para a praça de máquinas.

As redes de ar comprimido na praça de máquinas foram refabricadas e estendidas onde necessário. (Figura 5.5)



Figura 5.5 – Compressor de Ar (Acervo pessoal)

5.4 SISTEMA DE GÁS INERTE

O sistema existente de gás inerte utiliza caldeiras, de-mister, ventiladores, tanque de selagem, válvula de não-retorno, e válvulas de emergência completamente e detalhadamente inspecionados e retidos para uso.

As válvulas de distribuição do gás inerte foram substituídas por novas e feitas em aço carbono.

O novo sistema de gás inerte apresenta linhas de *Supply/Vent* (Suprimento e ventilação) e *Purge/Vent* (Purga e ventilação) dedicadas e foram conectadas individualmente à cada tanque de carga e slop, uma linha sempre à vante e a outra sempre à ré do tanque.

5.4.1 Caldeiras

Neste FPSO o gás inerte para manter os tanques de carga e slop em condições seguras de operação provém dos gases de queima da câmara de combustão da caldeira. Vale lembrar que as modificações sofridas na caldeira já foram citadas no item 5.2.2.

5.4.2 Tanque de selagem

O tanque de selagem (*Deck seal*), que é um tanque continuamente com água a um certo nível fazendo um selo e não permitindo que o gás do tanque (que é a mistura de gás inerte com gás de hidrocarbonetos) retorne para a praça de máquinas do navio e nem para o compartimento dos ventiladores se tornando uma ameaça à vida dos tripulantes.

Este equipamento foi completamente renovado.

5.4.3 P/V Breakers

Os PV Breakers (Pressure-vacuum breakers / Quebrador de vácuo e pressão) existentes, por se tratarem de uma outra configuração de operação, foram substituídos por dois outros, um para cada rede de gás inerte. (Figura 5.6)



Figura 5.6 – Construção dos novos P/V Breakers (Acervo Pessoal)

5.4.4 Mastros de ventilação e purga

Duas novas torres de ventilação foram instaladas no main deck, uma por cada bordo, para possibilitar a operação em todas as direções do vento (Figura 5.7). O objetivo desta torre é liberar um pouco os gases do tanque de carga e slop para diminuir a pressão evitando assim, uma explosão.



Figura 5.7 Torre de ventilação do Gás Inerte (Acervo pessoal)

6 MÓDULOS DE PRODUÇÃO

Todos os módulos de processo foram fabricados fora do estaleiro, mas os serviços de içar, instalar e montá-los à bordo ficaram a cargo dos estaleiros (figura 6.1), de Cingapura e Angra dos Reis bem como:

- a instalação das estruturas de acesso, como escadas, corredores, corrimãos, suporte de redes);
- O sistema de linhas (interconexão entre os módulos, drenos do *overboard* e *riser balcony*);
- Cabos elétricos e de instrumentação;
- Instalação de equipamentos em geral.

Integração dos módulos pelos estaleiros:

Módulo 1A: Manifold de produção 1 + Processamento de óleo

Módulo 1B: Manifold de produção 2 + Compressor *Booster* (recalque)

Módulo 1C: Manifold de produção 3 + PW (Produced Water – Água Produzida) + injeção subaquática de químicos

Módulo 02 : Processamento de óleo,

Módulo 04 : Compressão de ar A,

Módulo 05 : Compressão de ar B,

Módulo 09 : Tratamento de água do mar (SRP-Sulphate Reduction Package- Pacote redutor de sulfato),

Módulo 10 : Tratamento de água e água de injeção,

Módulo 12A : Geração de energia - Turbinas A + B,

Módulo 12B : Geração de energia - Turbinas C + D,

Módulo 13 : (LER) *Local Equipment Room*, Sala de equipamentos elétricos

Módulo 15 : Área de carga,

Módulo 16: HP & LP (High Pressure & Low pressure – Alta pressão e baixa pressão) *Flare Drums* + Desidratação de gás.

Um novo laboratório para conduzir as análises de qualidade do óleo, água e gás de acordo com as especificações do cliente foi instalado no *topside* à ré da área de processo.



Figura 6.1 – Instalação de um dos módulos de produção (Acervo Pessoal)

6.1 INSTALAÇÃO DOS *RISERS*

Uma estrutura externa foi instalada por bombordo junto ao costado do FPSO como plataformas para recebimento dos *risers* (mangotes conectados ao poço produtor). Esta plataforma lembra uma varanda, por ser projetada para fora do convés, e por isso recebe este nome no inglês *riser balcony*.

Para se instalar esta grande e pesada estrutura foram necessários reforços nas estruturas do convés e costado da região.

6.2 INSTALAÇÃO DO *FLARE*

Uma estrutura para o *Flare* (Queimador) foi instalado na proa por bombordo no convés principal para queimar os gases HP (*High Pressure* – Alta pressão) e LP (*Low pressure* – Baixa Pressão) durante a operação de início da produção ou em operações de emergência.

É uma estrutura tubular do tipo treliçado construída para suportar a tubulação do Flare. (Figura 6.2) Uma pequena plataforma foi instalada no topo para acessar o queimador e o ignitor quando necessário.

Para que esta torre do queimador não cause danos à estrutura do convés, o mesmo foi apoiado em reforços e também nas posições coincidentes com cavernas, onde o esforço de apoio é naturalmente menor.



Figura 6.2 – Instalação do Flare (Acervo Pessoal).

7 MANUTENÇÃO E INSPEÇÕES NO FPSO

Uma manutenção adequada na unidade é imprescindível para manter seu bom funcionamento e segurança nas operações durante seus longos anos de vida útil.

Visto que a fadiga é um dos principais motivos do desgaste da unidade, principalmente as que foram convertidas, um estudo sobre Fadigas em FPSO feito por Viviane Viana Coelho de Souza, para obtenção do grau de Mestre na UFRJ terá seus principais pontos citados abaixo:

“FADIGA

Introdução

A fadiga é responsável pela ocorrência de uma enorme quantidade de trincas nas soldas em detalhes estruturais típicos de navios mercantes. Durante muitos anos a falha relacionada à fadiga tornou-se um dos itens de maior preocupação em navios existentes e na preparação de novos projetos.

A maior parte das ocorrências de trincas surgiu nas conexões dos elementos secundários com os elementos primários, ou seja, na passagem das longitudinais pelas cavernas gigantes e anteparas transversais.

Entretanto, para a conversão de navios existentes em futuras unidades de produção offshore, esse problema se torna mais crítico. Primeiramente, porque estes detalhes “aprimorados” não foram incorporados nos navios que estão sendo convertidos, os quais em geral tem por volta de 20 anos de idade ou mais. Em segundo, porque as condições de operação dos navios FPSO’s tem características particulares que podem afetar o projeto original e serão profundamente discutidas neste capítulo. É, portanto, importante que se verifique o critério de fadiga não só nas conexões das longitudinais do costado, como também nas outras áreas potencialmente críticas ainda na fase de conversão para que se minimize o risco de fraturas durante a vida útil do FPSO.

Análise Simplificada de Fadiga

Existe uma discussão com relação ao projeto estrutural de navios FPSOs devido ao conflito entre as abordagens das indústrias marítima e a de offshore.

Tipicamente, a indústria marítima segue as Normas baseadas em uma formulação “empírica”, enquanto a indústria offshore tende a usar os princípios

fundamentais, tais como: as Leis de Newton e o princípio da conservação de massa. Os FPSO's consistem na integração entre as duas indústrias, onde cada parte necessita conhecer as bases e limitações da abordagem da outra. Utilizando-se da experiência adquirida e dos requisitos aplicáveis do projeto dos navios petroleiros, algumas sociedades classificadoras (ABSa, 2000) e (DNV, 2000) recentemente introduziram estas formulações para navios FPSO's. Isto permitiu uma integração entre a experiência dos dois tipos de indústria e a obtenção de um projeto e análises eficientes sob o ponto de vista estrutural.

Tipicamente, as normas das Sociedades Classificadoras são baseadas em fórmulas paramétricas que foram modificadas e atualizadas baseadas em estudo de pesquisas e da experiência operacional. Assim sendo, o projeto de um navio petroleiro permite ser rápido e simples de ser desenvolvido a partir de um número limitado de informações: comprimento, boca, calado, velocidade, coeficiente de bloco, etc.

Apesar da abordagem empírica não poder atingir um arranjo estrutural otimizado, ela pode reduzir muito o tempo requerido para a avaliação da maioria dos detalhes estruturais do navio. A complexidade para a apropriada determinação das cargas, pressões e forças atuantes na estrutura do navio pode demandar tempo e gerar incertezas. Isto muitas vezes é essencial para que os projetistas possam avaliar rapidamente a viabilidade técnica e econômica de um determinado projeto de forma segura. O projeto estrutural pode então mais tarde ser verificado considerando os princípios fundamentais como uma progressão natural da espiral de projeto. (MacMillan, A., 2001)

Para avaliar a vida útil de fadiga da estrutura de um navio ou FPSO, duas informações básicas são invariavelmente requeridas: as características do material na forma das curvas S-N e a distribuição de longo prazo das variações de tensões (ou o histograma das tensões) na estrutura.

Para o histograma de tensões, é necessário levar em conta todas as faixas de variação de tensão durante a vida útil do navio. As considerações quanto às condições de carregamento, velocidade, características ambientais, resposta dos movimentos, cargas resultantes e resposta estrutural deverão ser consideradas adequadamente. Dependendo de como a distribuição de longo prazo das tensões foi determinada, o procedimento de avaliação de fadiga das estruturas do casco pode

ser classificado como “análise espectral de fadiga” ou “análise simplificada de fadiga” descrito a seguir.

Regiões Críticas da Estrutura do Navio para Análise de Fadiga

Como orientação para a avaliação da resistência à fadiga em navios petroleiros / FPSO's, as seguintes áreas do casco e conexões deverão ser consideradas na análise simplificada:

I) Conexões de elementos secundários longitudinais com os elementos transversais primários e anteparas transversais:

i) longitudinais do costado na região em torno do calado selecionado (0,33~1,1 calado).

ii) longitudinais nas regiões de convés, fundo e antepara longitudinal.

Para estes detalhes estruturais, a avaliação da fadiga deverá deter-se primeiro, no flange da longitudinal nas proximidades da solda com as conexões de barra-chata ou borboleta,

II) As aberturas de passagem dos elementos longitudinais secundários através dos elementos primários transversais.

III) Outras áreas identificadas com variação de tensão elevada na análise estrutural, ou que estão sub-dimensionadas com base nas Regras atuais. As áreas que sofreram fraturas repetidas para um mesmo detalhe estrutural ao longo da vida útil do navio.

IV) No caso dos FPSO's, a análise de fadiga deve se estender para as estruturas acima do convés principal sujeitas a tensões cíclicas elevadas como as estruturas e conexões da planta de processo, flare, risers, sistemas de amarração e ancoragem.

Análise Estrutural para Conversão de FPSO's

Introdução

Por causa da similaridade estrutural entre os navios petroleiros e os FPSO's, as Sociedades Classificadoras estão levando vantagem dos seus programas desenvolvidos para navios já bastante aceitos e bem calibrados experimentalmente. Nesta direção, o ABS desenvolveu um módulo complementar denominado “SEAS”, para ser executado após a utilização do sistema “SAFEHULL”. Esta natural extensão das normas para navios atenderem também os FPSO's é muito importante para que se mantenha uma consistência técnica entre ambas as verificações do projeto. É claro que a discrepância entre os dois deve ser ajustada antes de se aplicar o

critério de projeto. Como ponto de partida, podemos mencionar que bem como definido nas Regras (ABS, 2001a), os navios são projetados para uma condição de mar irrestrita, a qual é baseada nas condições de mar do Atlântico Norte (rota E.U.A. – Europa). Para levar em consideração os dados ambientais da locação que o FPSO irá operar, o ABS desenvolveu também uma norma para orientar o projeto de FPSO's (ABS, 2000a).

Além da diferença na base de dados das condições ambientais, existem outras particularidades referentes à verificação estrutural do FPSO que serão tratadas adiante.

Similaridades e Discrepâncias entre a Estrutura do FPSO e do Petroleiro.

Petroleiros e FPSO's com forma de navio possuem estruturas e carregamento de viga-navio similares. Estas são as razões principais para a aplicação do mesmo critério no projeto de FPSO's e petroleiros. Podemos destacar como as principais similaridades os seguintes pontos:

1. ambos possuem similaridades em relação aos elementos estruturais, incluindo o casco, longarinas e sicordas, cavernas gigantes, tanques de carga e de lastro, chapeamento, reforçadores, procedimentos de fabricação do casco, etc.

2. ambos sofrem com tipos de cargas similares: pressão interna nos tanques (carga ou lastro), incluindo o movimento do líquido no interior dos tanques ("sloshing"), pressão hidrostática e hidrodinâmica externa.

Embora as similaridades da estrutura do casco existam entre petroleiros e FPSO's, as discrepâncias também existem no projeto e operação entre navios e FPSO's e serão levadas em conta no cálculo de avaliação estrutural e de fadiga.

Em termos das cargas atuantes de projeto, uma das diferenças funcionais entre navios e FPSO's é de que os petroleiros possuem a vantagem de poder se "desviar do mau tempo" ou de alterar a direção de aproamento com as ondas. No caso dos FPSO's, estas unidades estão ancoradas em uma locação fixa e podem estar sujeitas a solicitações extremas críticas. Portanto, as cargas máximas globais do FPSO são baseadas em um período de retorno de 100 anos, enquanto que no projeto de navios é usado um período de retorno de 20 anos.

Sob o ponto de vista das condições operacionais, um petroleiro opera normalmente em duas condições típicas: totalmente cheio ou em condição de lastro. Os FPSO's estão permanentemente enchendo e esvaziando os tanques, o que

influencia diretamente nas considerações da análise de fadiga, particularmente para as longitudinais do costado na faixa de calados intermediários (“splash zone”). Podemos dizer que a carga cíclica de fadiga atua em uma área maior, porém com menos dano acumulado de fadiga localizado.

Outro aspecto importante a ser considerado e que impacta diretamente a avaliação estrutural, se refere ao arranjo operacional diferente. Um FPSO possui de maneira geral, planta de produção sobre o convés, turret, flare, risers, ancoragem, etc.

Estes itens possuem uma enorme massa, centro de gravidade elevado, extensa área exposta ao vento, etc, os quais afetam diretamente nos movimentos das unidades estacionárias e as repostas da estrutura quando comparadas a um navio mercante.

Os navios existentes com vida útil em torno de 20 a 25 anos e que foram convertidos em FPSO's já possuem corrosão, trincas e fadiga acumuladas durante o período de sua vida útil. Além disso, as unidades estacionárias não são planejadas para fazer docagens ou reparos nos estaleiros durante a sua vida operacional. É, portanto, importante que se avalie a vida pregressa de fadiga da embarcação, para que se possa calcular a vida futura e evitar qualquer parada durante a operação do FPSO.”

7.1 PROLONGAÇÃO DA VIDA ÚTIL

É crescente a demanda de navios petroleiros existentes com idade em torno de 20 anos para a conversão em unidades flutuantes de produção e armazenamento de óleo (FPSO's). Tornou-se uma excelente opção de investimento estratégico e econômico das empresas do setor de petróleo, devido ao baixo investimento adicional e tempo de conversão muito menores comparativamente ao da nova construção. Esses FPSO's , na maioria das vezes, devem ficar na locação por mais 20 anos. Devido à extensão da vida operacional destas unidades, planejamentos cuidadosos deverão ser realizados antes da conversão ser tomada nos estaleiros.

Resistência da viga-navio, corrosão e fadiga devem ser levados em consideração neste processo de planejamento, não apenas pelo estado atual da embarcação como também pela nova condição de projeto.

Dentre as principais diferenças operacionais entre unidades do tipo FPSO e embarcações convencionais, podemos destacar os requisitos de avaliação e manutenção da estrutura do casco ao longo da vida em operação.

No caso das embarcações convencionais, a avaliação e manutenção da estrutura do casco ao longo do tempo em serviço é baseada em docagens periódicas e reclassificação a cada 5 anos (BV, 1998). Os reparos e modificações devidos às avarias causadas pela degradação estrutural por corrosão e fadiga, bem como devidos à sobrecarga, são usuais para as embarcações convencionais e normalmente considerados como parte integrante do procedimento de manutenção do Operador.

7.2 ISENÇÃO DE DOCAGEM

Uma análise compreensiva da estrutura do casco foi realizada para completar os requerimentos da próxima especial de casco e para estabelecer guias de base e monitoramento para o aço do casco.

Os resultados das inspeções de classe, juntamente com os requerimentos por parte da engenharia vão formar a base do Plano de Reparo do Aço (feito pela contratante) Este plano determina os reparos do casco e os trabalhos necessários de renovação do chapeamento para a extensão da vida útil da unidade.

O navio petroleiro convencional gasta a maior parte da sua vida útil transportando óleo de um lugar para outro, em uma das duas condições típicas de calado: carregado ou em lastro. Eles são sujeitos a docagens em intervalos regulares para manutenção, inspeção e reparo se for necessário.

FPSO's são unidades estacionárias, ou seja, eles possuem uma velocidade de avanço zero e não podem se desviar de tempestades. Os tanques de carga estão continuamente se enchendo e se esvaziando, bem como o calado está permanentemente variando em uma determinada faixa. A manutenção e a inspeção são feitas na locação e eles usualmente são projetados para não fazer docagens.

7.2.1 UWILD e demais inspeções

– Uma inspeção subaquática da parte submersa do casco é realizada em substituição à vistoria de docagem (UWILD - Underwater Inspection in Lieu of

Drydocking), já que o FPSO somente vai pro dique em ocasiões muito especiais. A inspeção deve normalmente incluir o revestimento, as caixas de mar, os bujões, os propulsores e os eletrodos do sistema de proteção catódica. Além disso, registros diários devem ser feitos das entradas e potenciais para o sistema de proteção catódica.

A inspeção dos tanques de carga e de lastro é em geral alinhada com as regras da sociedade classificadora, isto é, cada tanque de carga e de lastro inspecionado a cada 5 anos. Essas inspeções devem incluir, mas não devem se limitar a isso, o exame à procura de componentes faltantes, danos estruturais, condições dos anodos de sacrifício, a condição do revestimento e medição de espessura.

Ao verificar danos no revestimento, uma área que vale a pena receber uma inspeção adicional é sob a sucção das bombas. Durante os trabalhos de entrada no tanque, deve-se aproveitar a oportunidade para realizar a manutenção e testes das bombas, linhas e válvulas.

Poderá ser exigido o aprofundamento da inspeção mediante solicitações de exames ou testes nos casos em que existam indícios de que a estrutura não corresponda essencialmente ao apresentado no relatório, ou alguma deficiência encontrada considerada grave pelo Perito, seguindo regras e normas das classificadoras, quanto a sistemas, procedimentos operacionais, e treinamento do pessoal.

QUANTO AOS SISTEMAS

Inspeção visual e operacional de sistemas de prevenção da poluição, carga e lastro, gás inerte e lavagem de tanques com óleo cru (“COW”), amarração, movimentação de pessoal e carga, comunicações, propulsão e sistema de governo e condições gerais.

QUANTO AOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

São verificados os sistemas de gerenciamento de segurança, carga e descarga, “*offloading*”, transbordo de pessoal e carga e demais instruções e procedimentos operacionais.

TREINAMENTO DE PESSOAL

Praticamente em todas as perícias para a emissão da Declaração de Conformidade um dos itens que merecem maior importância é o adestramento da tripulação no tocante ao procedimento nas situações de emergência, no caso de combate de incêndio a bordo e abandono da Unidade. Para isto durante a realização da perícia em um dado momento, o perito informa, hipoteticamente, que está havendo um incêndio a bordo ou há necessidade de abandonar a Unidade por um certo bordo, utilizando as baleeiras ou outros dispositivos. Este é um teste com características reais onde o tempo de atendimento e nível de conhecimento do tripulante com o equipamento são avaliados. Nestes casos mesmo que a Unidade esteja de acordo com a regulamentação, o tripulante pode ser reprovado sendo necessária a sua substituição imediata até que este apresente um nível mínimo de adestramento para a função.

As vistorias são realizadas com o uso de um “*check-List*” da Sociedade Classificadora, específico para o tipo de Certificado que está se renovando ou fazendo o endosso anual, onde pode ser um “*check-list*” referente a certificação: MODU, “*Load Line*”, MARPOL ou classe. Estes documentos NÃO são confidenciais e é recomendável que a própria unidade ou a empresa, possua pessoal capacitado para com base neste “*check-list*” fazer uma verificação preliminar na unidade antes da vistoria. É importante frisar que uma vistoria que gere muitas pendências não é recomendável nem para o armador nem para a Sociedade Classificadora, pois além de tomar tempo do vistoriador, muitas vezes se faz necessário o adiamento de pendências e quanto mais pendências houver, maior a possibilidade de um maior número de pendências necessitarem serem postergadas.

A Sociedade Classificadora não obtém um maior lucro se necessitar embarcar um vistoriador inúmeras vezes para retirada de pendências. Para ela é mais confiável a situação em que existam poucas pendências e nenhuma considerada grave, onde possa ser possível obter os certificados definitivos e as vistorias necessárias sejam apenas as anuais e de renovação.

Para este objetivo ser alcançado a metodologia de realizar uma vistoria prévia é altamente recomendável, mas na prática a existência de pendências é natural e conseqüentemente o embarque do vistoriador para retirada destas. Então um fluxograma que enumera as atividades necessárias para a execução das vistorias bem como um procedimento de retirada das pendências da unidade.

7.3 PAPEL DAS SOCIEDADES CLASSIFICADORAS⁴

A conversão de um petroleiro para um FPSO é na maioria dos casos, mais econômica e leva menos tempo que a construção de um novo FPSO.

As condições da estrutura dos navios candidatos à conversão em FPSO devem ser verificadas levando em consideração os seguintes aspectos:

- Revisão da análise dos registros de classe;
- Análise de todos os relatórios de inspeção feitos ao longo da vida útil da embarcação disponíveis pela Classificadora e pelo armador.
- Inspeção do navio petroleiro, com relação principalmente à condição de corrosão/desgaste e à ocorrência de trincas na região de carga do navio.
- Levantamento das rotas percorridas e tempo efetivo operacional.
- Avaliação estrutural preliminar para identificar elementos estruturais que não atendam aos requisitos atuais de Regra.

Quando se tem um navio “candidato” à conversão, é conveniente fazer uma avaliação da estrutura com base nas Regras da Classificadora. As Classificadoras podem inclusive fazer uma avaliação da vida pregressa à fadiga da região de carga do navio para analisar a ocorrência de trincas durante a vida útil da embarcação.

Algumas vezes, pode-se concluir que alguns detalhes estruturais devem ser alterados, o que pode ocasionar um custo adicional significativo de aço e mão-de-obra.

Com relação à manutenção da embarcação, pode-se exemplificar através do peso de aço trocado das unidades já convertidas de que é um fator relevante no custo final da conversão.

A Tabela extraída de (Mastrangelo, C. F., Henriques, C.C.D., 1999) compara a quantidade de aço trocada nas conversões recentes:

Tabela 1 – Quantidade de aço trocado nas conversões de FPSO

Unidade	Fornecedor do Navio	Quantidade de Aço (t)
P-31	Petrobrás	540
P-32	Petrobrás	300
P-33	Petrobrás	900
P-35	Petrobrás	2560 *
P-37	Contratado	2,000
P-38	Contratado	1,200

(*) petroleiro-mineraleiro (VLOO-Very Large Ore-Oil)

Excluindo o caso da P-35, onde uma enorme quantidade de aço foi trocada pelo fato de que o navio era um petroleiro-mineraleiro, pode-se notar que a frota da Petrobras estava em melhores condições do que os outros navios adquiridos de outros armadores.

Existem diversos fatores que devem ser considerados em um projeto de FPSO. Estes fatores obviamente são bastante afetados pelo tamanho da instalação da planta de processo, a previsão de tempo de vida de serviço e a locação do FPSO.

A experiência adquirida com navios petroleiros construídos nos anos setenta e oitenta, demonstrou que especialmente as longitudinais do costado são mais suscetíveis à fadiga. Baseadas nesta experiência, as sociedades classificadoras introduziram requisitos mais rigorosos relativos ao cálculo de fadiga no projeto de navios petroleiros.

REQUISITOS DO PROJETO

No caso de unidades tipo FPSO, os seguintes aspectos devem ser considerados (LANDET *et al*, 2000):

- requisitos de uma vida de serviço (cerca de 20 / 25 anos) com o menor número possível de interrupções na produção para realização de inspeções, manutenção e reparos;
- impossibilidade de realização de docagens periódicas para realização de reparos;
- necessidade de prover acessos seguros para realização de inspeções periódicas durante a operação, a serem instalados em todos os tanques da região de carga, em diferentes níveis (NETO, 2001);
- condições especiais de operação relacionados à operação de carga e descarga de tanques, efeito de “*sloshing*” em tanques parcialmente cheios, etc.;
- existência de áreas especiais com pequena experiência operacional como “*turret*”, suportes do sistema de ancoragem e suportes de “*risers*”;
- aumento dos riscos financeiros e requisitos de segurança devidos à grande capacidade de armazenamento de óleo nos tanques de carga.

As unidades FPSO podem ser concebidas através da construção de um novo casco ou através da conversão de uma embarcação existente com grande capacidade de armazenamento.

Existem basicamente 3 tipos de navios utilizados como unidades tipo FPSO, classificados em função do arranjo estrutural da seção transversal típica da região de carga (Seção-Mestra):

a) Navios de casco singelo: existe apenas uma barreira entre a carga e o meio externo.

Um par de tanques laterais são normalmente utilizados como lastro;

b) Navios de casco duplo: existem duas barreiras entre a carga e o meio externo,

exceto na região do convés. Os tanques laterais são considerados como tanques de

lastro ou espaços vazios (“voids”);

c) Navios originalmente construídos para transporte de minério e óleo: A estrutura do fundo na região do tanque central de carga é composta por duas barreiras entre a carga e o meio externo. As demais regiões (costado, fundo dos tanques laterais e convés) possuem apenas uma barreira. A estrutura dos tanques centrais do navio convencional é reforçada a fim de permitir também o transporte de minérios em rotas específicas.

A utilização de navios de casco singelo para os sistemas do tipo FPSO é suportada pela utilização de regras e regulamentos existentes para projeto, construção e acompanhamento de navios convencionais. O Regulamento MARPOL isenta a aplicação do Regulamento 13G do MARPOL, anexo I, referente aos requisitos retroativos para embarcações existentes quanto aos requisitos de casco duplo para unidades flutuantes, a menos que solicitado integralmente ou parcialmente pela autoridade costeira local.

De acordo com (NETO *et al.* 2001), cerca de 65% das unidades de produção tipo FPSO em operação no mundo são embarcações de casco singelo e convertidas a partir de embarcações existentes. No Brasil, exceto para as unidades P-34 e SEILLAN, todas as unidades em operação na Bacia de Campos eram unidades convertidas a partir de navios de casco singelo, mantidos de acordo com os requisitos das Sociedades Classificadoras (MASTRANGELO, 2000).

CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a importância de um FPSO na cadeia exploratória do petróleo em águas profundas e em áreas longínquas da costa, sendo que sua existência permite a atividade ser economicamente viável. Devido a este fato e com a descoberta de petróleo em águas profundas novas unidades surgirão, e aos que se aventurarem neste campo haverá muitos benefícios em troca, principalmente para os oficiais de náutica, que garantirão e perpetuarão um novo campo de trabalho, incluindo participação em obras de conversão realizadas em estaleiros renomados internacionais e nacionais, visto que hoje em dia cada vez mais os estaleiros vêm se dedicando a este tipo de operação.

Após uma explicação dos tipos de construção de um FPSO oriundos de conversão do casco de navios em grande maioria petroleiros ou de construção de casco novos, foram explicadas as legislações atuais para os cascos simples.

Foi apresentado como estudo de caso a conversão da plataforma FPSO P-57 pela empresa SBM onde os aspectos estruturais tiveram relevância. Foram contempladas ainda as mudanças feitas nos principais sistemas de bordo, divididos basicamente nas seções de convés, máquinas e produção.

Ao final do trabalho, e não menos importante, foi explicada a importância de uma boa manutenção no FPSO, as principais inspeções ocorridas neste tipo de unidade e a mais importante delas, a UWILD, que isenta a unidade da docagem convencional.

Foi explicado porque uma boa relação com as sociedades classificadoras eleva o nível de segurança operacional do FPSO, que na verdade é o objetivo de todas as unidades do mundo que operam na cadeia de óleo e gás. Segurança em primeiro lugar sempre, para poder desfrutar a vida em família com saúde podendo trabalhar numa atividade tão promissora e que o nosso país tanto nos orgulha de fazer parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Fernando H. de Melo; MACEDO, Helber; SILVA, Ataíde de Freitas; SILVA, Severino Freitas. **Simulação de operações de unidades FPSO/FSO**. Rio de Janeiro: SENAI-RJ, 2006.

CASTRO, Nelson Mendonça; ROCHA, Orlando Carlos Souza da; CASTRO, Felipe Rodrigues. **Curso especial de segurança em operações de navios petroleiros**. Rio de Janeiro : DPC, 1996.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS NÁUTICAS. **Estabilidade aplicada em unidades FPSO/FSO e semi-submersíveis**. Rio de Janeiro: ICN, 2004.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS NÁUTICAS. **Segurança operacional em FPSO/FSO/SS**. Rio de Janeiro: ICN, 2004.

LOUREIRO, Rodrigo Reis. **Resistência estrutural de plataformas: treinamento de operadores**. Rio de Janeiro: UN-RIO/ENGP/EISA, 2008.

LOUREIRO, Rodrigo Reis. **Sistemas flutuantes de produção: treinamento de operadores**. Rio de Janeiro: UN-RIO/ENGP/EISA, 2008.

SARACENI, Pedro Paulo. **Transporte marítimo de petróleo e derivados**. Rio de Janeiro : Interciência, 2006.

(MASTRANGELO, 2000).

(NETO, 2001)

SITES

<http://www.tnpetroleo.com.br/sala_de_aula/tipos-de-plataforma>

<<http://www.blogmercante.com/2010/10/fpsos-quem-eram-antes-da-conversaopost-pronto/>>

<www.ccaimo.mar.mil.br/SecIMO/convencoes/AnexoVI%20da%20Marpol_73_78.pdf>. Acesso em 19/07/09.

<www.en.wikipedia.org/wiki/Floating_Production_Storage_and_Offloading> Acesso em 13/07/09.

<www.en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound> Acesso em 14/07/09.

<www.lepten.ufsc.br>. Acesso em 16/08/09.

<www.marinetalk.com/images/05-05-18/fanbeam.jpg>. Acesso em 16/08/09.

<www.mauajurong.com.br/pag/img_comp/t_FPSOP50_gd.jpg> Acesso em 16/08/09.

<www.pt.wikipedia.org/wiki/Salinidade>. Acesso em 22/07/09.

<www.revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=18393>. Acesso em 20/07/09.

<www.smit.com/sitefactor/page.asp?pagelD=826>. Acesso em 16/08/09>

<www.suapesquisa.com/geografia/petroleo/camada_pre_sal.htm> Acesso em 15/07/09.

<www.tankservice.com/port/pecas.php>. Acesso em 16/08/09.

<www.unifor.br/notitia/file/2921.PDF>. Acesso em 17/07/09.

<www.vcneg.org/documentos/anais_cneg4/T7_0038_0034.pdf>. Acesso em 13/07/09.

GLOSSÁRIO

- Arqueação Bruta:** É um valor que expressa o tamanho total de uma embarcação, sendo função do volume de todos os espaços fechados. Embora seja um parâmetro adimensional alguns autores lhe acrescentam a medida de toneladas.
- Artemis:** É um sistema fixo de posicionamento através de microondas. Consiste em duas estações: a estação móvel e a estação fixa que trabalham em sintonia transmitindo a posição de uma para a outra. O sistema é usado mundialmente como sensor de referência preciso e seguro para o sistema de Posicionamento Dinâmico (DP).
- Boreste:** É considerado o lado direito do navio, olhando-se da popa (parte de ré) para a proa (parte de vante). Também conhecido como estibordo.
- Bombordo:** É o lado esquerdo do navio, olhando-se da popa (parte de ré) para a proa (parte de vante).
- CCR (*Central Control Room*):** Sala de Controle Central, ou simplesmente Sala de Controle. É conhecida como a área de operações central da unidade FPSO. Na Sala de Controle estão localizados os painéis e terminais de computador responsáveis pelo controle operacional da planta.
- Cofferdam:** Espaço entre duas anteparas transversais contíguas. Compartimento estanque ou espaço vazio usado como proteção entre duas anteparas de um navio. Também pode ser usado como compartimento vazio para isolar um tanque de óleo de um tanque de água.
- DARPS:** Origina-se da sigla em inglês *Differential, Absolute and Relative Positioning System*, ou seja, Sistema de Posicionamento Diferencial Absoluto e Relativo. É um sistema de posicionamento baseado no GPS, o qual combina a escala de informações entre os sistemas DARPS de duas unidades diferentes estabelecendo o posicionamento relativo entre elas.
- Fanbeam:** É um sistema de antena direcional no qual a antena transmite um feixe detector unidirecional a fim de determinar a localização do navio. Também conhecido como sistema de referência radar laser.
- Flare:** Alta estrutura metálica treliçada instalada no convés da unidade, na posição vertical ou inclinada, destinada à queima para a atmosfera de gases não exportados ou consumidos à bordo.

- Gás Inerte:** Gás com alto teor de Nitrogênio e Monóxido e Dióxido de Carbono em menores quantidades, usado para manter a atmosfera de um tanque ou reservatório com o teor de oxigênio sempre baixo (menor que 8%) fazendo com que fique fora do rico de explosão e incêndio.
- Lastro:** É o peso com que se lastra um navio. É comum os navios, e particularmente os petroleiros, saírem leves de um porto, isto é, sem carga. Neste caso deve-se colocar lastro a fim de torná-lo mais pesado. Quando seu expoente de carga consta quase que exclusivamente de lastro diz-se então que o navio está em lastro. O lastro é feito com a água do mar.
- Posicionamento Dinâmico:** É um recurso que possibilita ao navio posicionar-se (levando-se em consideração as coordenadas de latitude e longitude) através de orientação satélite, estações de referência em terra e sistemas inerciais; e assim conseguir manter-se nessa posição, pois o sistema vincula a posição do navio com os comandos de movimentação da embarcação.
- Porte bruto:** Significa a diferença, em toneladas métricas, entre o deslocamento de um navio em água de densidade de 1.025 na linha d'água de carga correspondente à borda livre de verão determinada e o deslocamento leve do navio.
- P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*):** Diagrama de Instrumentação e Tubulação. São os diagramas das linhas de processo, conexões e tubulações, bem como os instrumentos e equipamentos usados em refinarias, plantas de processo químico ou petroquímico, plantas de processo de gás natural, plantas de sistemas de potência e plantas de tratamento de água.
- Risers:** Tubos flexíveis pelos quais passam o óleo e a água produzida vindas do poço no fundo do mar com destino à plataforma de produção para ser processado. Usados também, no sentido contrário, para injetar água no poço produtor.
- Sociedades Classificadoras:** Grupos de empresas sérias e com credibilidade autorizadas pela Administração da bandeira para emitir os certificados estatutários e de classe de uma unidade.
- Turret:** Torre instalada nas unidades produtoras por onde chegam os risers de produção de óleo e gás. Estas torres são ancoradas no fundo do mar e as unidades possuem um eficiente *swivel* (sistema de rolamento) que faz com que a unidade ao ser redor fique livre de tensões e se afilie sempre à resultante vento x corrente.

Ullagem:

É a distância vertical entre a superfície de um líquido e o teto do tanque no qual ele está contido. Também conhecido como o espaço vazio. É a medição comumente usada em navios petroleiros para se determinar a quantidade de carga num determinado tanque.