

DESCOMISSIONAMENTO DE CALDEIRAS E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS
DE OSMOSE REVERSA NA UNIDADE DE PERFURAÇÃO MARÍTIMA
PETROBRAS 10000

Matheus da Cunha Ramalho

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Gustavo Rabello dos Anjos

Rio de Janeiro

Julho de 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Poli

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ

DESCOMISSONAMENTO DE CALDEIRAS E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS
DE OSMOSE REVERSA NA UNIDADE DE PERFURAÇÃO MARÍTIMA
PETROBRAS 10000

Matheus da Cunha Ramalho

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovada por:

Prof. Gustavo Rabello dos Anjos

Prof. Gabriel Lisboa Verissimo

Prof. Antonio MacDowell de Figueiredo

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2022

Ramalho, Matheus da Cunha

Descomissionamento de Caldeiras e Instalação de Sistemas de Osmose Reversa na Unidade de Perfuração Marítima Petrobras 10000/ Matheus da Cunha Ramalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2022.

XII, 68 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Gustavo Rabello dos Anjos

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 60 – 65.

1. Caldeiras. 2. Osmose Reversa. 3. Redução da Emissão de Gases Poluentes. I. Rabello dos Anjos, Gustavo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia Mecânica. III. Descomissionamento de Caldeiras e Instalação de Sistemas de Osmose Reversa na Unidade de Perfuração Marítima Petrobras 10000.

Dedico o presente trabalho à minha mãe Andrea que sempre representou minha principal base de apoio durante toda a vida pessoal, acadêmica e profissional

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família por ter me incentivado a superar todos os obstáculos ao longo do caminho. Ao meu pai Julio por sempre torcer pelo meu sucesso profissional. Ao meu irmão Guilherme por todo o companheirismo e amizade construídos ao longo da vida. E em especial à minha mãe Andrea, a qual dedico todas as minhas conquistas até aqui e todo o sucesso que ainda está por vir.

À minha namorada Bárbara por ser meu suporte emocional daqui até a eternidade, sempre acreditando nos meus sonhos e aspirações, além de me proporcionar a fase mais feliz da minha vida.

Aos meus avós Maria, Ana e Julio por cuidarem de mim desde o meu nascimento e por expressarem constantemente o quão orgulhosos estão de mim.

Aos meus amigos Vitor, Juliana, Daniel, José, Mateus, Rodrigo, Eduardo e Filipe que estão ao meu lado há anos, tanto nas fases boas quanto nas ruins, sempre me estimulando a ser melhor.

Aos meus amigos Marcos, Ácmon, Raphael, Wesley e Paulo por estarem comigo desde o início da graduação e representarem um alívio dos estresses acadêmicos.

Aos meus gestores Victor Turque, Matheus Poubel e Igor Brucher por terem me cedido a oportunidade de mostrar minha capacidade em uma empresa na qual eu não imaginaria alcançar nem em meus mais profundos sonhos, além de acreditarem no meu potencial, auxiliando em todos os processos necessários para que eu possa dar meu próximo passo na vida profissional.

Ao Professor Gustavo Rabello por todo seu empenho como educador e por ter provido todo o suporte necessário para que este trabalho fosse desenvolvido.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico

DESCOMISSIONAMENTO DE CALDEIRAS E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS
DE OSMOSE REVERSA NA UNIDADE DE PERFURAÇÃO MARÍTIMA
PETROBRAS 10000

Matheus da Cunha Ramalho

Julho/2022

Orientador: Gustavo Rabello dos Anjos

Programa: Engenharia Mecânica

A análise do descomissionamento de caldeiras e substituição por sistemas de osmose reversa na produção de água potável mostra-se importante, principalmente para o setor de óleo e gás, visando reduzir o consumo de diesel da sonda de petróleo, trazendo assim benefícios como a redução da emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa e redução dos custos financeiros. O presente estudo demonstra o cálculo de emissões de dióxido de carbono provenientes das caldeiras através de três diferentes fatores. Assim, houve a conclusão das melhorias decorridas do projeto, além de comprovar a exequibilidade técnica e viabilidade financeira da implementação deste. O trabalho visa reduzir as emissões do navio-sonda Petrobras 10.000 em 6.555,68 toneladas de CO_2 e a substituição torna-se economicamente rentável após 61 dias.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer

REPLACEMENT OF BOILERS BY REVERSE OSMOSIS SYSTEMS IN OIL
RIGS

Matheus da Cunha Ramalho

July/2022

Advisors: Gustavo Rabello dos Anjos

Department: Mechanical Engineering

The analysis of the decommissioning of boilers and replacement by reverse osmosis systems in the production of potable water proves to be important, mainly for the oil and gas industry, aiming to reduce the consumption of diesel from the oil rig, thus bringing benefits such as the reduction of emission of polluting gases that cause the greenhouse effect and reduction of financial costs. The study demonstrates the calculation of carbon dioxide emissions from boilers through three different factors. Thus, the improvements resulting from the project were concluded, in addition to proving the technical and financial feasibility of its implementation. The project aims to reduce emissions from the Petrobras 10,000 drillship by 6,555.68 tons of CO_2 and the replacement becomes economically profitable after 61 days.

Sumário

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Organização da tese	3
2 Revisão de Sistemas das Unidades de Perfuração Marítima	5
2.1 Sistemas Fundamentais dos Navios-Sonda	5
2.1.1 Sistema de Sustentação e Movimentação de Cargas	5
2.1.2 Sistema Rotativo	11
2.1.3 Sistema de Armazenamento e Circulação de Fluidos	15
2.1.4 Sistema de Propulsão e Posicionamento Dinâmico	18
2.1.5 Sistema de Geração de Energia	20
2.1.6 Sistema de Controle e Segurança de Poço	21
2.1.7 Sistema de Controle e Monitoramento	24
3 Objeto de Estudo: Navio-Sonda Petrobras 10000	26
3.1 Introdução	26
3.2 Operações em Águas Profundas e Ultra-Profundas	26
3.3 Unidade de Perfuração Marítima Petrobras 10000	27
3.3.1 Sistema de Perfuração	28
3.3.2 Sistema de Propulsão	30

3.3.3	Sistema de Geração e Distribuição de Energia Elétrica	31
3.3.4	Sistema de Fluidos	32
4	Projeto de Substituição de Caldeiras por Sistemas de Osmose Re-	
	versa no Navio-Sonda Petrobras 10000	34
4.1	Características Gerais do Projeto	34
4.2	Consumo de Diesel pelas Caldeiras	37
4.3	Análise Técnica das Capacidades das Caldeiras e do Sistema de Os-	
	mose Reversa	38
4.4	Análise Financeira de Implementação do Projeto	39
5	Impactos Ambientais e Cálculo das Emissões dos Gases do Efeito	
	Estufa pelas Caldeiras	41
5.1	Introdução	41
5.2	Fator do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mu-	
	danças Climáticas	45
5.3	Fator do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial	
	do Governo do Reino Unido	47
5.4	Fator da Organização Marítima Internacional	49
5.5	Comparação Entre os Fatores de Cálculo das Emissões dos Gases do	
	Efeito Estufa pelas Caldeiras	52
5.6	Comparativo entre a Emissão de CO_2 pelas Caldeiras e pelos Modos	
	de Transporte Convencionais	56
6	Considerações Finais	58
6.1	Conclusão	58
	Referências Bibliográficas	60
A		66
A.1	Características Técnicas do Navio-Sonda Petrobras 10000	67

Lista de Figuras

1.1	Demanda mundial de Petróleo segundo a OPEP em níveis pré-pandêmicos	2
2.1	Torre de Perfuração	6
2.2	Passarela de Tubos	7
2.3	Bloco de Coroamento	8
2.4	Catarina	9
2.5	Swivel	10
2.6	Drawworks	11
2.7	Mesa Rotativa	12
2.8	Kelly	13
2.9	Bucha do Kelly	13
2.10	Top Drive	14
2.11	Iron Roughneck	15
2.12	Caldeira	16
2.13	Bombas de Lama	17
2.14	Sistema de Tratamento de Lama	18
2.15	Thrusters	19
2.16	Esquemático Simples do Sistema de Posicionamento Dinâmico	20
2.17	Blowout Preventer	22
2.18	Preventor de Gaveta	23
2.19	Preventor Anular	23
2.20	Esquemático da Montagem do Conjunto do BOP	24
2.21	<i>Painel do Sondador</i>	25
3.1	Produção Diária das Bacias de Santos e Campos	27

3.2	Navio-Sonda Petrobras 10000	28
4.1	Planejamento Estratégico em Sustentabilidade da Petrobras para o Período de 2022 a 2030	35
4.2	Arranjo Geral de um Sistema de Osmose Reversa	37
5.1	Porcentagem das Fontes Energéticas na Matriz Mundial	42
5.2	Árvore de Falhas da Explosão da Caldeira a Bordo da Embarcação NS-32	43

Lista de Tabelas

4.1	Consumo de Diesel de uma Caldeira em m^3 /dia	38
5.1	Fatores de Emissão de CO_2 para Diferentes Combustíveis	46
5.2	Fatores de Emissão Publicados pelo Governo do Reino Unido para o Óleo Diesel Marítimo	48
5.3	Especificação de Óleos Diesel Marítimos	50
5.4	Fatores de Emissão de CO_2 por Classificação de Combustível	51
5.5	Fatores de Emissão Quilométrica de CO_2 por Modo de Transporte . .	56

Capítulo 1

Introdução

O Petróleo possui diversas aplicações na sociedade atual, sendo a matéria-prima para diversos produtos, como gasolina, diesel, plásticos, borrachas sintéticas, entre outros, alcançando assim a posição de mais importante fonte de energia do século.

Apesar da recente queda na demanda por petróleo e busca por energias renováveis que o substituam, as previsões para o mercado petrolífero são de alta para os próximos anos. Segundo a OPEP, Organização dos Países Exportadores de Petróleo, a demanda global pela *commodity* avançará para o patamar de 100,8 milhões de barris por dia em 2022, elevando em 4,2 milhões de barris por dia a previsão anterior, que havia sido definida em 96,6 milhões de barris por dia [1].

Esta crescente demanda energética ressalta a necessidade de extração de petróleo em zonas cada vez mais complexas, em lâminas d'água que ultrapassam os 3.000 metros de profundidade. Assim, faz-se necessário analisar as diversas técnicas empregadas na indústria petrolífera atual, visando otimizar, tanto a perfuração de poços de exploração, quanto a produção de petróleo.

A figura 1.1 apresenta a comparação entre a previsão estipulada para a demanda de petróleo de 2012 a 2018 em relação a real demanda, comprovando as previsões.

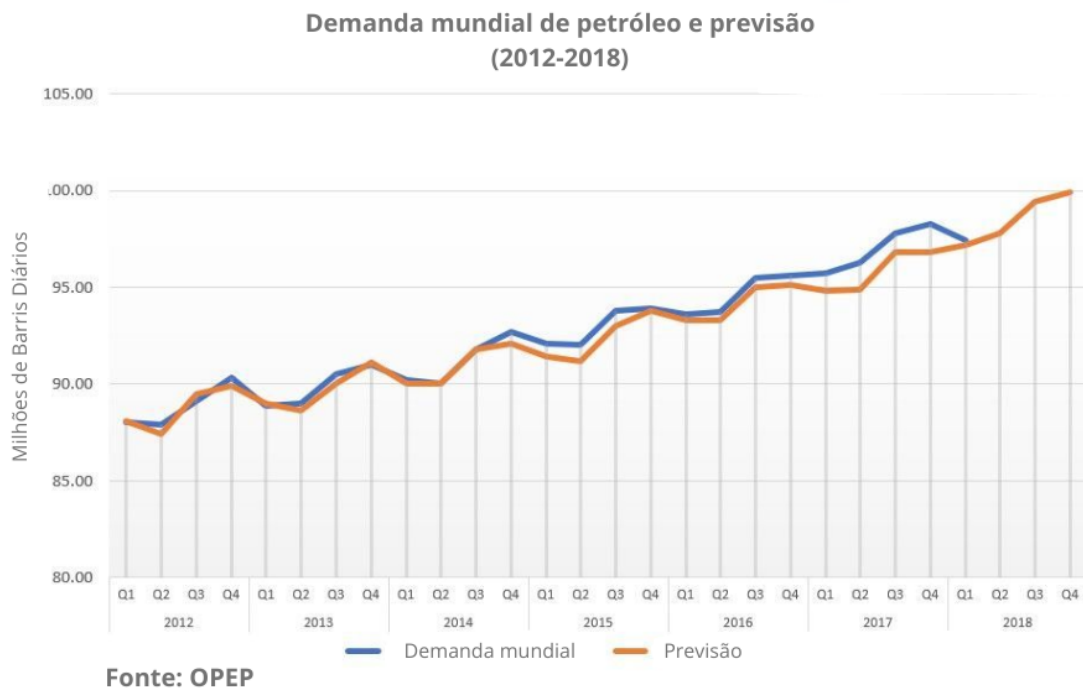


Figura 1.1: Demanda mundial de Petróleo segundo a OPEP em níveis pré-pandêmicos

- Modificado de [2]

1.1 Motivação

Em paralelo com o aumento na demanda de energias, há também a crescente demanda por fontes renováveis e sustentáveis, criando assim um obstáculo para a indústria de petróleo e gás natural. Por isso, é de extrema importância desenvolver estudos e análises com o objetivo de reduzir o impacto ambiental da exploração, produção e consumo de energias não-renováveis, este é o principal fator motivador do presente trabalho.

Além disso, caldeiras possuem diversas complexidades envolvendo manutenções e normas, gerando assim a necessidade de alocar diversos trabalhadores para garantir o funcionamento do equipamento, além de grandes custos financeiros para as empresas. Assim, a análise realizada neste estudo irá discorrer sobre a viabilidade de substituir os equipamentos supracitados por sistemas de osmose reversa e aquecedores.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo gerar conhecimentos acerca da possibilidade de se adotar uma exploração de combustíveis fósseis menos impactante em questões ambientais.

O estudo visa contribuir para que diversas empresas analisem a viabilidade de implementação desta tecnologia em suas unidades de perfuração, alcançando assim uma redução considerável na emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, o que trará diversos benefícios a médio e longo prazo, tanto financeiros, quanto ambientais.

1.3 Metodologia

Para que o atual trabalho possua embasamentos de dados comprovados e científicos, a análise será especificada para uma sonda de perfuração de poços de petróleo em específico, o navio-sonda Petrobras 10.000, da empresa Transocean.

Assim, para fins de cálculos financeiros e de consumo de diesel, os dados utilizados serão referentes à unidade de perfuração supracitada, porém o objetivo é que o estudo possa ser extrapolado para outros navios-sonda, possuindo assim um alcance mais geral na indústria.

1.4 Organização da tese

Visto que a introdução e a motivação do tema foram esclarecidos, o trabalho será dividido em seis tópicos, com o objetivo de percorrer todos os assuntos de suma importância para a análise geral, como consumo de diesel pelo sistema de caldeiras, custos de manutenção e implementação, avaliação dos impactos ambientais e da redução dos mesmos, entre outros.

A fim de uma melhor compreensão no decorrer do trabalho, serão apresentados, no capítulo 2, os principais sistemas dos navios-sonda de perfuração de poços.

No capítulo 3 será introduzido o objeto de estudo do trabalho, o navio-sonda Petrobras 10.000, abordando assim suas características gerais, técnicas, história e operações.

O capítulo 4 terá enfoque no sistema de caldeiras do objeto de estudo e será

abordado o projeto de substituição pelos equipamentos de osmose reversa e os aquecedores.

No capítulo 5 serão abordadas questões ambientais referente à indústria petrolífera, além dos resultados obtidos das análises, apresentando as reduções dos impactos ambientais após a implementação do projeto.

No capítulo 6 haverá as considerações finais e conclusões sobre o presente trabalho.

Capítulo 2

Revisão de Sistemas das Unidades de Perfuração Marítima

2.1 Sistemas Fundamentais dos Navios-Sonda

Os navios-sonda, também conhecidos como *Drillships*, são unidades extremamente complexas que dependem de diversos sistemas e equipamentos para que realize suas operações de forma adequada. Assim, faz-se necessário compreender o funcionamento da sonda de perfuração em um âmbito geral para posterior análise sobre o projeto em questão no presente trabalho.

2.1.1 Sistema de Sustentação e Movimentação de Cargas

O sistema de sustentação e movimentação de cargas faz referência aos equipamentos que garantem o içamento, o armazenamento e a movimentação das cargas ao longo da unidade de perfuração.

Torre ou Mastro

Torres (ver Figura 2.1) ou mastros são grandes estruturas de aço com elevada amplitude vertical que possibilitam o içamento de colunas de tubos a serem descidas ou retiradas do poço.

A principal diferença entre as torres e os mastros, se dá pelo fato de que é necessário montar e desmontar as torres a cada poço devido ao transporte, enquanto

os mastros são divididos em algumas poucas seções que podem ser montadas na horizontal e içadas para a posição vertical [3].



Figura 2.1: Torre de Perfuração
- Retirado de [4]

Passarela de Tubos

Também conhecida como *Pipe Catwalk*, a passarela de tubos (ver Figura 2.2) é uma estrutura metálica com o principal objetivo de dispor e armazenar as tubulações (tubos de perfuração, revestimentos, etc.) acima do solo na vertical, facilitando assim o manuseio e o transporte destas [5].



Figura 2.2: Passarela de Tubos
- Retirado de [6]

Bloco de Coroamento

O bloco de coroamento (ver Figura 2.3) é constituído por um conjunto de polias fixas, localizadas no topo da torre ou mastro, com objetivo de suportar as cargas transmitidas pelos cabos de perfuração [5].



Figura 2.3: Bloco de Coroamento
- Retirado de [5]

Catarina

Catarina (ver Figura 2.4), também conhecida como bloco viajante, é um equipamento formado por uma série de polias móveis que são acopladas ao gancho. Junto com o bloco de coroamento, formam um sistema que facilita o manuseio de elevadas cargas decorrentes das operações de perfuração [7].



Figura 2.4: Catarina
- Retirado de [7]

Cabeça de Injeção

Mais conhecido pelo termo *Swivel*, a cabeça de injeção (ver Figura 2.5) é um elemento de conexão entre as partes fixas do sistema de movimentação de cargas aos elementos rotativos.

Além disso, um tubo em sua lateral, *Gooseneck*, é responsável por injetar o fluido de perfuração no interior da coluna, conferindo assim ao *Swivel*, participação em três sistemas distintos: Sistema de sustentação e movimentação de cargas, sistema rotativo e sistema de circulação de fluidos [7]).



Figura 2.5: Swivel
- Retirado de [8]

Guincho de Perfuração

O guincho de perfuração, ou *Drawworks* (ver Figura 2.6), tem como objetivo a movimentação vertical das tubulações no poço, seja de forma ascendente ou descendente. Este é formado por um tambor principal, embreagens, freios, molinetes e tambores auxiliares [3]).



Figura 2.6: Drawworks

- Retirado de [9]

2.1.2 Sistema Rotativo

O sistema rotativo tem como principal função rotacionar a coluna de perfuração, transferindo a energia necessária para que a broca perfure as formações.

Mesa Rotativa

A mesa rotativa (ver Figura 2.7) é um equipamento cujo principal objetivo é suportar o peso da coluna de perfuração durante as operações, além de girar a mesma. Para transferir o torque para a coluna, é necessária a utilização de equipamentos adicionais, como Kelly e Bucha do Kelly, que serão abordados a seguir. Atualmente, muitas unidades de perfuração utilizam uma alternativa à Mesa Rotativa chamada *Top Drive*, que também será abordada posteriormente [3].



Figura 2.7: Mesa Rotativa

- Retirado de [7]

Kelly e Bucha do Kelly

Kelly (ver Figura 2.8) é um trecho de tubo que se conecta à última seção dos tubos da coluna de perfuração, possuindo seção hexagonal para aplicações marítimas e quadrada para aplicações terrestres. Já a Bucha do Kelly (ver Figura 2.9), também conhecida como *Kelly Bushing*, conecta o Kelly à mesa rotativa, garantindo a transmissão do torque gerado pela mesa para toda a coluna de perfuração [7].



Figura 2.8: Kelly
- Retirado de [7]



Figura 2.9: Bucha do Kelly
- Retirado de [10]

Top Drive

Uma alternativa mais eficiente e muito utilizada em relação ao conjunto Mesa Rotativa, Kelly e Bucha do Kelly é o *Top Drive* (ver Figura 2.10). Este é um motor localizado no topo da coluna de perfuração que a rotaciona, possuindo algumas vantagens como a possibilidade de perfurar até 27 metros (seções de 2 a 3 tubos) sem que haja a necessidade de pausa na operação para realizar a conexão de mais

tubos. No caso da mesa rotativa, somente é possível perfurar até 9,1 metros de forma direta, já que este somente consegue lidar com um tubo único [11].



Figura 2.10: Top Drive
- Retirado de [12]

Iron Roughneck

O *Iron Roughneck* (ver Figura 2.11) é um equipamento mecânico responsável por aplicar um torque nas seções de tubo com o objetivo de acoplar ou desacoplar estes conforme a coluna de perfuração é inserida ou retirada do poço. O Iron Roughneck é posicionado de forma hidráulica e elimina o manuseio das chaves flutuantes. [3].



Figura 2.11: Iron Roughneck
- Retirado de [13]

2.1.3 Sistema de Armazenamento e Circulação de Fluidos

Caldeiras

As caldeiras (ver Figura 2.12) serão o ponto focal no decorrer do presente trabalho. Estes equipamentos possuem duas principais funções nas unidades de perfuração: produção de água potável e aquecimento do combustível para auxiliar no perfeito funcionamento dos purificadores de óleo diesel.

Porém, existem algumas problemáticas em relação às caldeiras que necessitam de avaliação, como consumo de combustíveis fósseis, necessidade de manutenção frequente e custosa, além de normas reguladoras rígidas [14]. Tais tópicos serão aprofundados ao longo do relatório, analisando assim as vantagens e desvantagens deste sistema.



Figura 2.12: Caldeira
- Retirado de [15]

Bombas de Lama

As bombas de lama (ver Figura 2.13) são um equipamento fundamental para o sistema de circulação de fluidos. Estas são bombas de deslocamento positivo que pressurizam o fluido na direção e sentido desejados. Atualmente, as bombas mais utilizadas pela indústria são do tipo triplex, ou seja, dispõem de três camisas ou *liners* e bombeiam o fluido em apenas um sentido [7].

Estas possuem como principais funções o bombeamento de óleo e lama, além da remoção dos cavacos gerados pela perfuração realizada pela broca.

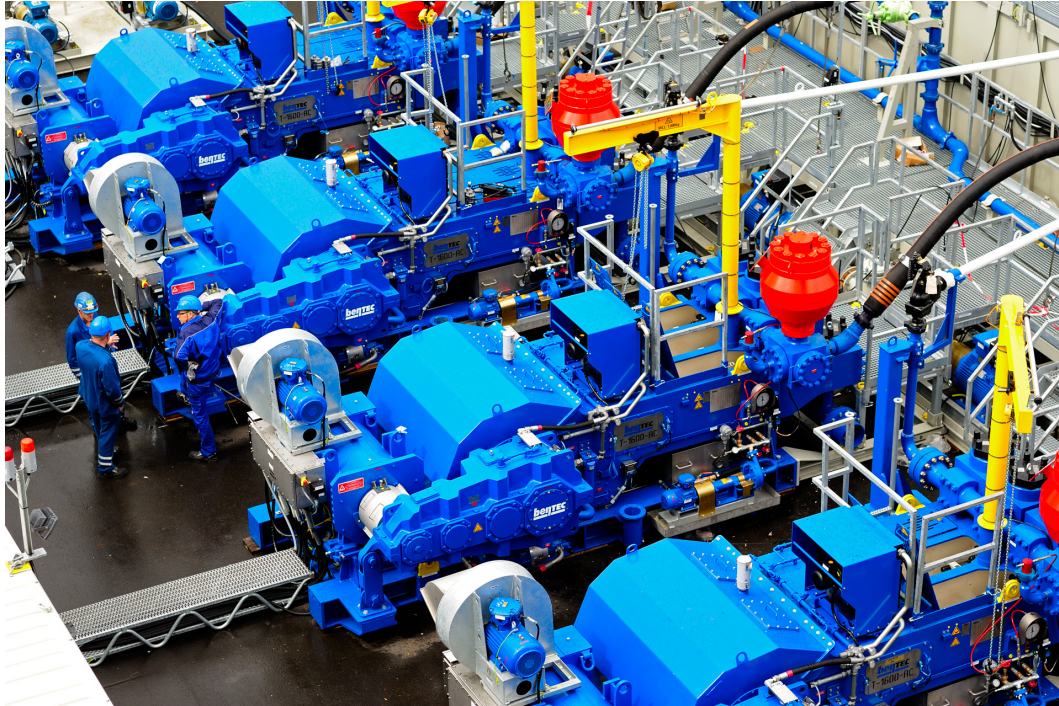


Figura 2.13: Bombas de Lama
- Retirado de [16]

Sistema de Tratamento de Lama

O sistema de tratamento de lama (ver Figura 2.14) é formado por diversos componentes, como peneiras de lama, dessiltadores, desareidores, degaseificadores, centrífugas, misturadores, etc.

Todos os componentes citados operam para que seja possível misturar aditivos químicos ao fluido de perfuração, remover gases e substâncias indesejadas, além de retirar sólidos da lama [7].

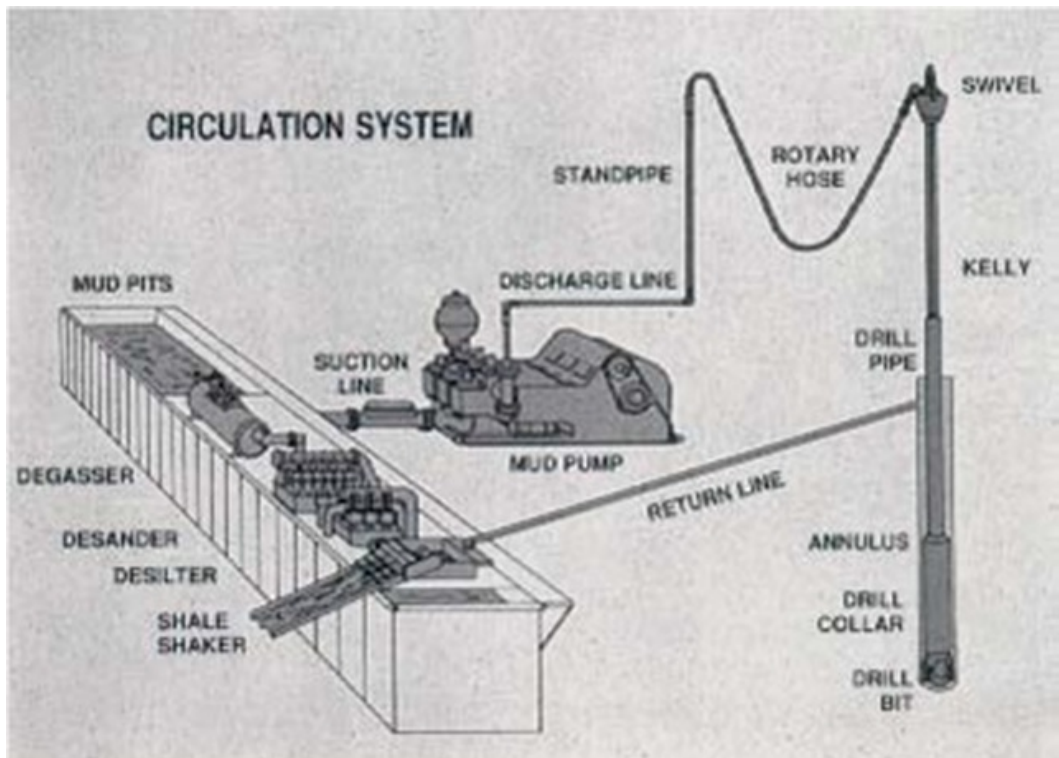


Figura 2.14: Sistema de Tratamento de Lama
- Retirado de [17]

2.1.4 Sistema de Propulsão e Posicionamento Dinâmico

O sistema de propulsão e posicionamento dinâmico das unidades de perfuração é essencial tanto para a locomoção da embarcação, quanto para o controle de movimento da sonda durante a operação.

Thrusters

No caso dos *Drillships*, há a utilização de *Thrusters* azimutais (ver Figura 2.15) que auxiliam tanto na propulsão, quanto na manutenção do posicionamento do Navio-Sonda para garantir a continuidade operacional [14]. Algumas unidades de perfuração mais atuais utilizam 6 *Thrusters* azimutais, 3 à popa e 3 à proa da embarcação, como é o caso do objeto de estudo deste trabalho, a unidade Petrobras 10000.



Figura 2.15: Thrusters
- Retirado de [18]

Além disso, o sistema DP (*Dynamic Positioning System*) (ver Figura 2.16) possui redundâncias para assegurar a segurança e eficiência da operação, enquanto algumas unidades utilizam redundância dupla (DP2), as mais modernas utilizam tripla, ou seja, existe a independência entre 3 conjuntos de motores, garantindo assim dois sistemas reservas em caso de falha [19]. O Navio-Sonda Petrobras 10000 utiliza o sistema DP3, o que será discorrido mais a frente.



Figura 2.16: Esquemático Simples do Sistema de Posicionamento Dinâmico
 - Retirado de [20]

2.1.5 Sistema de Geração de Energia

O sistema de geração de energia é responsável por produzir a energia que alimenta os equipamentos da embarcação, garantindo assim seu funcionamento. As sondas de perfuração podem ser divididas em duas classificações distintas, referentes ao método de distribuição de energia, são elas: Sondas Mecânicas e Sondas Diesel-Elétricas.

Sondas Mecânicas

Nas sondas mecânicas, a energia é produzida através de motores a diesel. Estes são conectados a uma transmissão comum que alimenta, de forma mecânica, os componentes essenciais da embarcação, como as bombas de lama e a mesa rotativa [7].

Sondas Diesel-Elétricas

No caso das sondas diesel-elétricas, também há a utilização de motores a diesel, mas diferentemente das sondas citadas anteriormente, esta energia não é transmitida

diretamente aos equipamentos de forma mecânica. Assim, os motores a diesel são conectados a geradores de energia elétrica, podendo ser do tipo DC-DC, quando os geradores são de corrente contínua, ou AC-DC, caso os geradores sejam de corrente alternada [7]. A extensa maioria das sondas marítimas são do tipo Diesel-Elétrica, como é o caso do *Drillship* Petrobras 10000, já que este possui vantagens referentes à eficiência operacional que serão discutidas à frente para o caso específico da unidade estudada.

2.1.6 Sistema de Controle e Segurança de Poço

Em relação à segurança operacional, o controle e segurança de poço é um dos sistemas mais importantes do Navio-Sonda. Além de fornecer dados quanto ao poço e aos parâmetros necessários à operação, este garante a segurança em caso de *Blowout* ou *Kick*.

Um *Kick* é um acontecimento que pode ocorrer quando a perfuração alcança uma formação de pressão excessiva, ocorrendo um fluxo indesejável do fluido contido em alguma formação para dentro do poço [21].

Caso o *Kick* não seja adequadamente controlado, esse pode escalar para um *Blowout*, culminando num descontrole total em relação ao poço. Esse acidente pode resultar em diversos prejuízos materiais, risco à tripulação e, ainda, danos ambientais.

Blowout Preventer

O *Blowout Preventer* (ver Figura 2.17), ou BOP, é o principal componente do sistema de controle e segurança de poço. Este é utilizado para controlar a pressão no poço em caso de *Kick* e garante o fechamento do poço em caso de descontrole massivo nas pressões, evitando assim um *Blowout* [22].

Este é instalado na cabeça do poço, através de um *riser* de perfuração, que consiste em um tubo de elevado diâmetro que permite a passagem da coluna de perfuração em seu interior. Posteriormente, durante a operação, os fluidos de perfuração serão circulados no espaço anular entre o *riser* e a coluna de perfuração [23].

Na região inferior do *riser*, está localizado o LMRP (*Lower Marine Riser Pac-*

kage), que possui como principal função desconectar o *riser* do BOP em caso de *Blowout* [23].

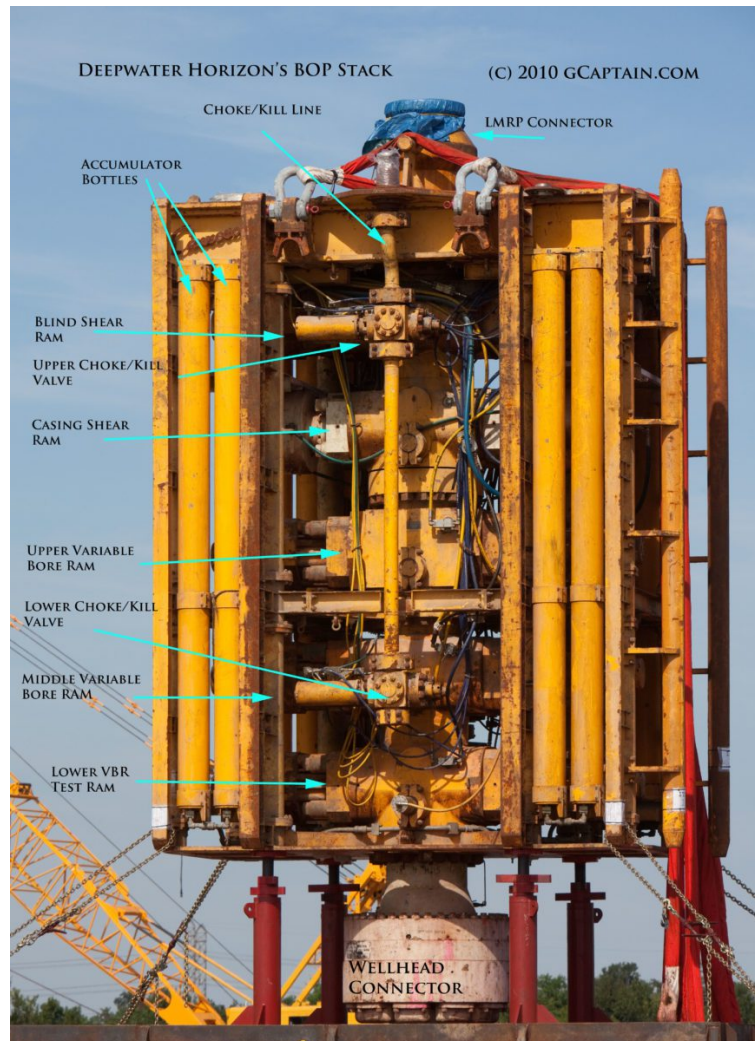


Figura 2.17: Blowout Preventer
- Retirado de [24]

Preventores de Gavetas

Os preventores de gavetas (ver Figura 2.18) são responsáveis pelo fechamento anular do poço através de dois pistões que pressionam duas gavetas, uma contra a outra, evitando assim um *Blowout* [3].

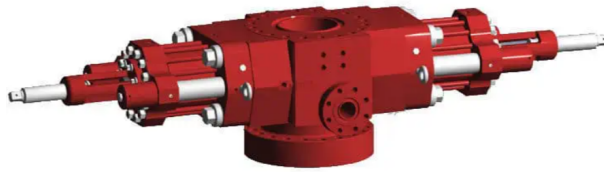


Figura 2.18: Preventor de Gaveta
- Retirado de [25]

Preventor Anular

No caso dos preventores anulares (ver Figura 2.19), estes permitem o fechamento do espaço anular do poço e seu funcionamento se dá através de um pistão que se desloca no interior de um corpo cilíndrico e comprime um componente de borracha que exerce pressão contra a tubulação que esteja dentro do poço, fechando-o. Estes preventores podem exercer tal função em tubulações de qualquer diâmetro e fechar poços sem qualquer coluna em seu interior [3].



Figura 2.19: Preventor Anular
- Retirado de [26]

Linha de *Kill* e *Choke*

A linha de *Kill* permite bombear fluidos em direção ao espaço anular no interior do poço, visando controlá-lo, quando não é possível injetar os fluidos através do método convencional, ou seja, pela coluna de perfuração (SOUZA, 2020).

Assim como a linha de *Kill*, a linha de *Choke* tem como objetivo controlar o poço. Esta linha é utilizada para a aplicação de uma contrapressão no caso de um *Kick* e para circular o fluxo para fora do poço de forma controlada [14].

A seguir, a Figura 2.20 apresenta um esquemático de uma alternativa de montagem de um conjunto de *Blowout Preventer*, apresentando Gavetas, Válvulas e Linhas de *Kill* e *Choke*.

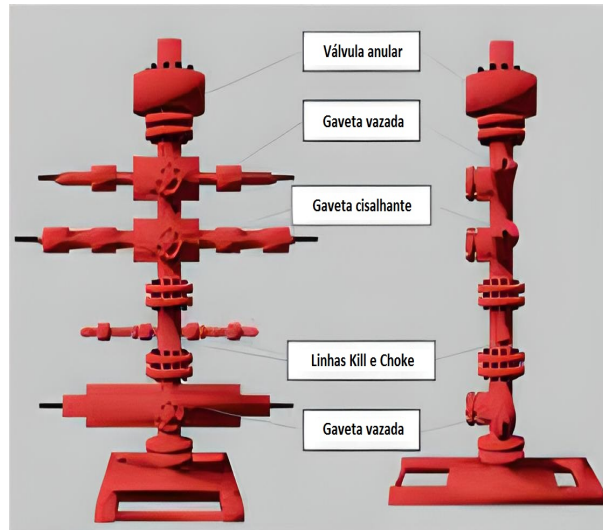


Figura 2.20: Esquemático da Montagem do Conjunto do BOP
- Modificado de [27]

2.1.7 Sistema de Controle e Monitoramento

Esse sistema é necessário para o controle e registro dos parâmetros de perfuração e é composto por diversos equipamentos e sensores localizados na cabine do sondador.

Painel do Sondador

O painel do sondador (ver Figura 2.21) está localizado na cabine do sondador, também conhecida como *Driller's cabin*, e apresenta determinados parâmetros para que o funcionário responsável (sondador ou *driller*) possa analisar os indicadores e determinar os parâmetros ideais de perfuração. Alguns dos equipamentos presentes são manômetro, torquímetro, tacômetro, indicador de peso no gancho e sobre a broca, indicador do nível dos tanques, registrador da taxa de penetração da broca, entre outros [3][7].

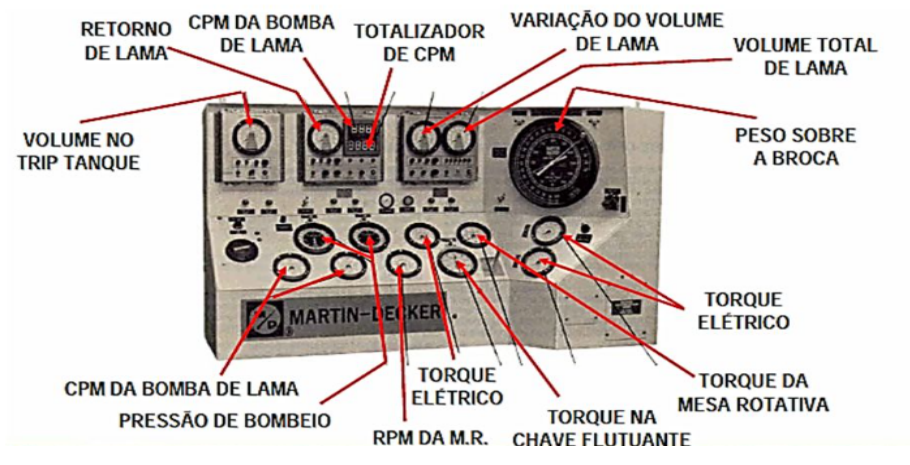


Figura 2.21: *Painel do Sondador*

- Retirado de [28]

Capítulo 3

Objeto de Estudo: Navio-Sonda Petrobras 10000

3.1 Introdução

O início da procura moderna por poços de petróleo ocorreu em conjunto com a revolução industrial, de modo que havia a necessidade de produção de lubrificantes para as máquinas movidas a carvão, além da procura da população por métodos mais eficientes de iluminação.

À medida em que a sociedade cresceu e se desenvolveu, a necessidade de produção energética foi elevada substancialmente, de forma que o petróleo representa um papel extremamente importante no que diz respeito a suprir tal demanda.

3.2 Operações em Águas Profundas e Ultra-Profundas

Com a evolução do setor petrolífero, a exploração de campos cada vez mais complexos e profundos vem sendo desenvolvida. As duas principais bacias do país representam desafios em águas profundas e ultra-profundas, em profundidades que podem atingir a marca de 5 mil metros. Estas são as Bacias de Santos e de Campos, tendo a primeira ultrapassado o patamar de 70% de toda a produção de petróleo nacional em 2021.

A seguir, a Figura 3.1 indica a produção diária das duas principais bacias produtoras de petróleo do Brasil, a Bacia de Santos e de Campos.

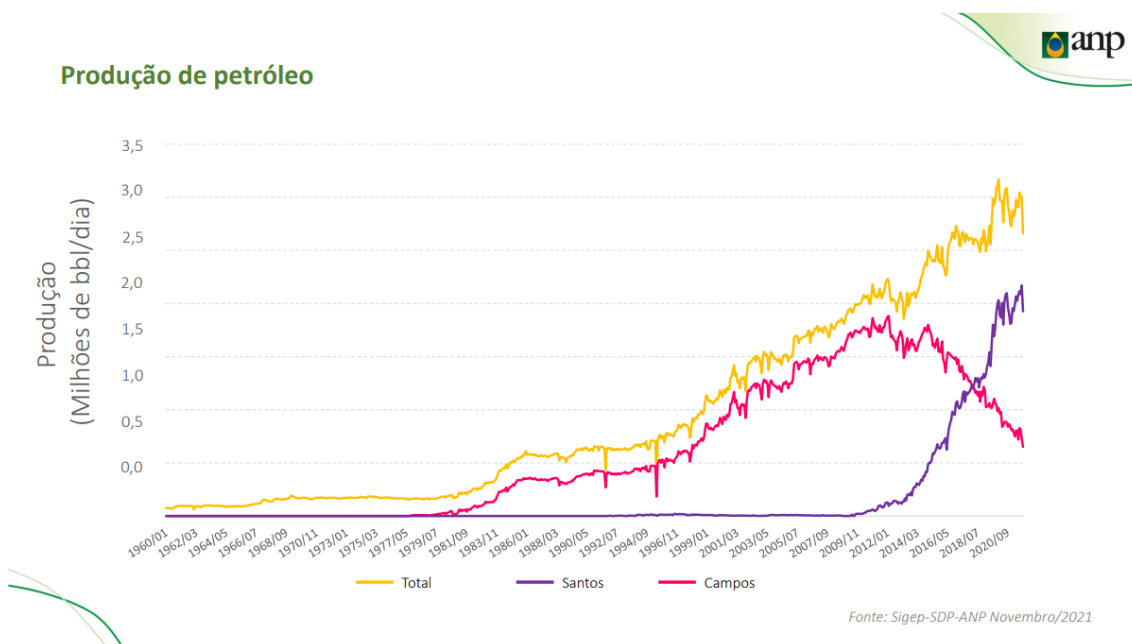


Figura 3.1: Produção Diária das Bacias de Santos e Campos
- Retirado de [29]

Dito isto, o setor de perfuração de poços de petróleo *offshore* evoluiu de forma a alcançar operações em tais profundidades. O navio de perfuração Petrobras 10000 foi desenvolvido para suprir esta crescente demanda, alcançando lâminas d'água de até 12000 pés (3657 metros) e perfurando em profundidades de até 37000 pés (11277 metros).

Devido a seu grande potencial exploratório e alta tecnologia, a embarcação Petrobras 10000 já operou em ambas as bacias e está atualmente perfurando na Bacia de Campos, no campo de Marlim.

3.3 Unidade de Perfuração Marítima Petrobras 10000

Para que seja possível compreender a análise focal do presente estudo, é necessário ter conhecimento sobre os principais equipamentos e características da sonda em questão. Assim, alguns dos sistemas citados de forma generalizada no capítulo

2 serão especificados para o objeto de estudo.

A embarcação, que atualmente faz parte da frota de sondas de perfuração operadas pela empresa *Transocean* possui, aproximadamente, 228 metros de comprimento, 42 metros de largura e 19 metros de altura e foi construída na Coréia do Sul, mais especificamente no estaleiro Samsung Heavy Industries.

A Figura 3.2 apresenta uma fotografia real do objeto de estudo do presente trabalho, o Navio-Sonda Petrobras 10000.



Figura 3.2: Navio-Sonda Petrobras 10000

- Retirado de [30]

O navio de 6^a geração acomoda até 199 pessoas, possui um deslocamento de 98000 toneladas, calado de 12 metros em operação e de 8,5 metros em trânsito, velocidade de trânsito de até 12 nós, além de profundidade de lamina d'água para operação de até 3657 metros e profundidade de perfuração de até 11277 metros, como citado anteriormente.

3.3.1 Sistema de Perfuração

O navio-sonda Petrobras 10000 foi construído com a tecnologia *Dual Activity*, onde a embarcação possui dois sistemas de perfuração completos. O conceito, criado e patenteado pela empresa *Transocean* em 1995, permite um revolucionário

aumento na eficiência da perfuração dos poços de petróleo e gás natural, pois permite operações simultâneas em paralelo, tanto na torre principal, quanto na torre auxiliar. A embarcação *Discoverer Enterprise* foi a pioneira a utilizar a tecnologia e provou o aumento de performance do conceito, reduzindo o tempo de perfuração dos poços em um alcance de 20% a 40% [31].

Torres

Como citado anteriormente, a unidade é uma *Dual Activity*, possuindo assim duas torres para sustentar as colunas de perfuração, instalar o *Blowout Preventer*, manusear tubos, etc. Uma das torres é chamada de principal, com capacidade nominal de 2.000.000 lbs, e a outra de auxiliar, com capacidade nominal de 972.000 lbs. Ambas as torres possuem dimensão de 61 metros de altura e base de 24 metros de comprimento e 24 metros de largura. É importante frisar que apesar das torres possuírem mesmas dimensões e equipamentos rotativos similares, a diferença entre as capacidades nominais se dá, principalmente, pelo bloco de coroamento, que é um fator limitador na torre auxiliar.

Guincho de Perfuração

À bordo da embarcação existem dois guinchos de perfuração, ou *Drawworks*, instalados, um para a torre principal e um para a auxiliar, ambos possuem 2.000.000 lbs de capacidade e 5 motores elétricos que proporcionam uma potência total contínua de 5750 hp e uma potência total máxima de 8050 hp.

Compensador

A unidade possui dois compensadores de mesmas dimensões, um para cada torre de perfuração, com capacidade nominal de 1.000.000 lbs quando em compensação passiva, atingindo a marca de 2.000.000 lbs quando fixado a um curso de 7,6 metros.

Mesa Rotativa

O navio-sonda dispõe de duas mesas rotativas avaliadas com uma capacidade nominal de carga estática de 2.000.000 lbs, além de uma capacidade dinâmica (enquanto em rotação) de 1.500.000 lbs a uma velocidade de 5 rotações por minuto.

Top Drive

Dois *Top Drives* também compõe o sistema, tendo capacidades e dimensões idênticas. Estes possuem capacidade nominal de 2.000.000 lbs, pressão de trabalho de 7500 psi e velocidade máxima de rotação de 280 rpm, tornando assim possível rotacionar a coluna de perfuração durante a operação.

Equipamentos de Manuseio de Tubos

A unidade conta com dois equipamentos produzidos pela empresa NOV, referenciados como *Hydra Rackers* para manuseio e estaleiramento das tubulações. Os equipamentos possuem um SWL (*Safe Working Load*) ou carga útil de até 12500 kg, quando utilizando um braço de alavanca inferior a 2,7 metros para manusear os tubos.

Blowout Preventer

Como previamente citado no capítulo 2, o BOP ou *Blowout Preventer* é um dos principais equipamentos da sonda, pois este é responsável por controlar a pressão no interior do poço e evitar acidentes catastróficos. O navio Petrobras 10000 opera com um BOP com pressão de trabalho de 15000 psi e seis gavetas, sendo três gavetas de tubos (ou *pipe rams*) e outras três gavetas cisalhantes (ou *shear rams*).

Além disso, dois preventores anulares também são utilizados no controle e segurança do poço, sendo um com pressão de trabalho de 15000 psi e localizado no LMRP (*Lower Marine Riser Package*) e um preventor anular de 10000 psi localizado no conjunto do *Blowout Preventer*.

3.3.2 Sistema de Propulsão

O sistema de propulsão é responsável pela movimentação da sonda, possibilitando o trânsito desta para diversas localidades do mundo e facilitando o deslocamento entre poços, sem que haja a necessidade de utilização de embarcações adicionais para realizar o reboque.

A este sistema, pode-se englobar o sistema de posicionamento dinâmico, que utiliza *thrusters* computadorizados em conjunto com diversos sensores para compensar

fatores como ventos e correntes marítimas, garantindo assim segurança operacional [3].

Thrusters

A presente sonda utiliza seis *thrusters* azimutais, onde cada um destes apresenta uma potência de 6035 hp, totalizando assim 36210 hp. Os propulsores possuem hélices fixas e encobertas por bocais, visando aprimorar a eficiência dos propulsores. Tal configuração confere à embarcação uma velocidade de trânsito de até 12 nós.

Equipamentos de Posicionamento Dinâmico

Uma unidade com um sistema DP2 possui redundância dupla, possibilitando assim que, em caso de falha de um dos sistemas, o posicionamento ideal seja mantido até que a operação possa ser interrompida.

Para o caso da embarcação Petrobras 10000, o sistema utilizado é o DP3. Este possui uma grande vantagem operacional, pois apresenta tripla redundância, onde todos os três sistemas devem estar fisicamente separados, evitando assim que acidentes locais possam danificar mais de um sistema. Este grande avanço possibilita que o navio continue operando mesmo com a falha de um dos sistemas de posicionamento dinâmico, evidenciando assim uma melhor eficiência de operações em unidades DP3 [18].

3.3.3 Sistema de Geração e Distribuição de Energia Elétrica

A sonda de perfuração Petrobras 10000 é considerada como diesel elétrica, utilizando um sistema AC-DC, onde motogeradores de corrente alternada (AC) geram energia elétrica que será distribuída e consumida tanto em corrente alternada (AC), quanto em corrente contínua (DC), pelos equipamentos operacionais. A ampla utilização do sistema diesel elétrico em *Drillships* marítimos se dá pelo fato de que este confere maior versatilidade no posicionamento físico dos equipamentos no navio, reduzindo assim o tempo gasto na montagem e desmontagem dos sistemas instalados [7].

Motogeradores a Diesel

A unidade dispõe de seis motogeradores que proporcionam uma potência contínua de 9776 hp a uma velocidade de rotação de 720 rpm. A estes motogeradores estão acoplados seis geradores elétricos de corrente alternada que produzem 7000 kW cada, totalizando 42000 kW de potência elétrica que será retificada e terá sua tensão controlada para ser distribuída posteriormente.

3.3.4 Sistema de Fluidos

O sistema de fluidos é essencial, pois possui distintas funções na embarcação. Este se prova necessário para a operação, circulando e armazenando fluidos de perfuração, além de assegurar a saúde e conforto dos tripulantes, ao produzir, armazenar e distribuir água potável.

Tanques de Armazenamento

Como citado anteriormente, os fluidos são utilizados em diversas áreas da sonda, possuindo diferentes utilidades. No caso da sonda Petrobras 10000, os tanques disponíveis armazenam grandes quantidades de fluidos que serão usados na perfuração, na produção de energia, na propulsão e para consumo por parte da força humana disponível.

Os tanques destinados aos fluidos de perfuração podem ser itemizados como:

- Tanque de Água Industrial
- Tanque de Fluido Salmoura (ou *brine*)
- Tanque de Fluido de Base Orgânica
- Tanque Ativo de Fluido de Perfuração
- Tanque Reserva de Fluido de Perfuração

Também estão presentes tanques de armazenamento de óleo diesel, que será utilizado pelos geradores de energia elétrica. Além disso, tanques de água potável também fazem parte deste sistema e a produção desta água será aprofundada mais a frente como principal foco do presente estudo.

Bombas de Lama

Quatro bombas de lama estão presentes à bordo da sonda, cada uma possui dois motores que entregam 1350 hp de potência a uma velocidade de rotação de 920 rpm, conferindo 2700 hp por bomba de lama.

A pressão e a vazão dos equipamentos variam de acordo com os diâmetros das camisas e pistões utilizados, além da variação da velocidade angular, comumente medida em SPM (*strokes per minute*). É possível citar a vazão máxima das bombas no navio Petrobras 10000 de aproximadamente 284 m³/h, que é alcançada com a linha de diâmetro de 9 polegadas e atinge uma pressão de bombeamento de 2795 psi.

Caldeiras

A unidade possui duas caldeiras com capacidade total de 10000 kg/h que são frequentemente utilizadas para a produção de água potável para a sonda, além de auxiliar na operação dos purificadores de combustível, aquecendo o óleo diesel para posterior passagem pelos filtros.

A utilização de caldeiras desperta algumas preocupações nos âmbitos de segurança da tripulação, risco ao meio ambiente e custo elevado de manutenção. Estes tópicos serão abordados e discutidos no capítulo seguinte explicitando a vantagem no descomissionamento das caldeiras e instalação dos sistemas de osmose reversa.

Capítulo 4

Projeto de Substituição de Caldeiras por Sistemas de Osmose Reversa no Navio-Sonda Petrobras 10000

4.1 Características Gerais do Projeto

Atualmente, o desenvolvimento de tecnologias focadas em energias sustentáveis vem sendo exponencialmente ampliado. Há uma preocupação constante com o futuro do meio ambiente, trazendo à tona problemas como o aquecimento global e evidenciando a necessidade de redução da emissão de gases do efeito estufa. O setor de petróleo e gás natural representa um papel fundamental no debate pela sustentabilidade e está continuamente desenvolvendo projetos que visam uma redução do impacto ambiental.

A Figura 4.1 determina as metas definidas pela Petrobras para seu planejamento estratégico sustentável até o ano de 2023.

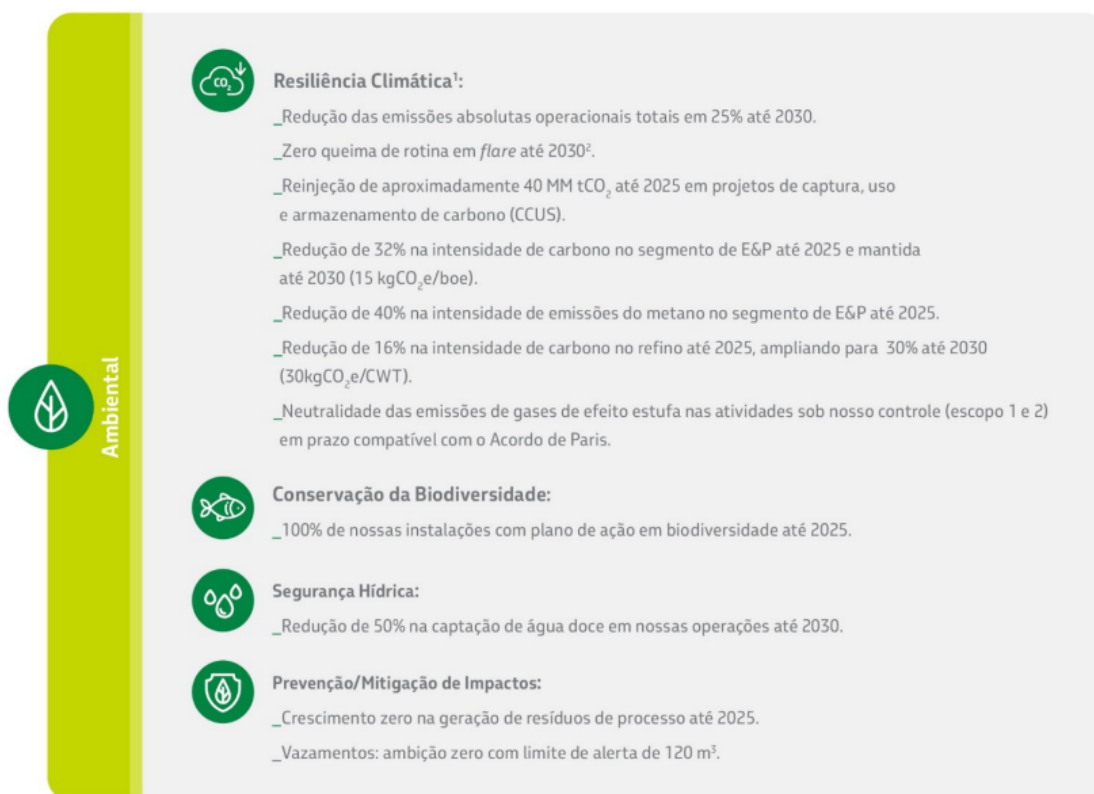


Figura 4.1: Planejamento Estratégico em Sustentabilidade da Petrobras para o Período de 2022 a 2030

- Retirado de [32]

Baseado nessa preocupação, foi desenvolvido o projeto de descomissionamento das caldeiras do navio-sonda Petrobras 10000, pois estes consomem quantidades significativas de óleo diesel diariamente, aumentando assim a pegada ecológica tanto da embarcação, quanto da empresa *Transocean*.

Como citado no capítulo anterior, esta unidade de perfuração marítima dispõe de duas caldeiras que são frequentemente usadas para produção de água potável, aquecimento do óleo diesel e, ainda, uma terceira função de auxílio nos testes de poços.

Esta utilização do equipamento não se mostra eficiente, pois consome uma demasiada quantidade de combustível, requer uma manutenção complexa e custosa, visto que as caldeiras se enquadram na Norma Regulamentadora 13 (NR-13) e possuem mais de 10 anos em operação, além de representar um risco para a segurança da tripulação e para a integridade do navio em caso de uma possível explosão.

Em adição, há ainda a possibilidade de ocorrência de acúmulo de sódio nos espe-

lhos das caldeiras devido as suas complexas geometrias de construção, deteriorando o cordão de solda. Esse empecilho gerou a necessidade de realização de duas intervenções corretivas no passado, que são de cunho complicado, pois são realizadas em espaços confinados. Logo, foi desenvolvido o estudo e projeto de substituição destas caldeiras por:

- Sistemas de osmose reversa, para produção de água altamente purificada que será utilizada pela tripulação em diversas atividades;
- Aquecedores elétricos, para que estes possam aquecer o combustível que será filtrado posteriormente nos purificadores de óleo;
- Eventual aluguel de caldeira, em caso de necessidade de utilização de vapor para teste de poço.

Aprofundando os conhecimentos quanto ao sistema de osmose reversa, é possível compreender seu funcionamento ao pensar de forma comparativa com o processo osmótico natural. A osmose é um fenômeno em que a água flui do meio menos concentrado em solutos para o mais concentrado, através de uma membrana semipermeável. Esse movimento resulta no surgimento de uma pressão no sentido do fluxo d'água, chamada de pressão osmótica. Em contrapartida, o sistema de osmose reversa tem como objetivo realizar o movimento inverso, onde a água flui do meio mais concentrado para o menos concentrado. Para isso, é necessária a aplicação de um gradiente de pressão superior à pressão osmótica nos componentes do lado mais concentrado da membrana semipermeável. Esse processo é comumente aplicado na dessalinização da água, isolando os solutos e gerando água potável, que será utilizada pela tripulação.

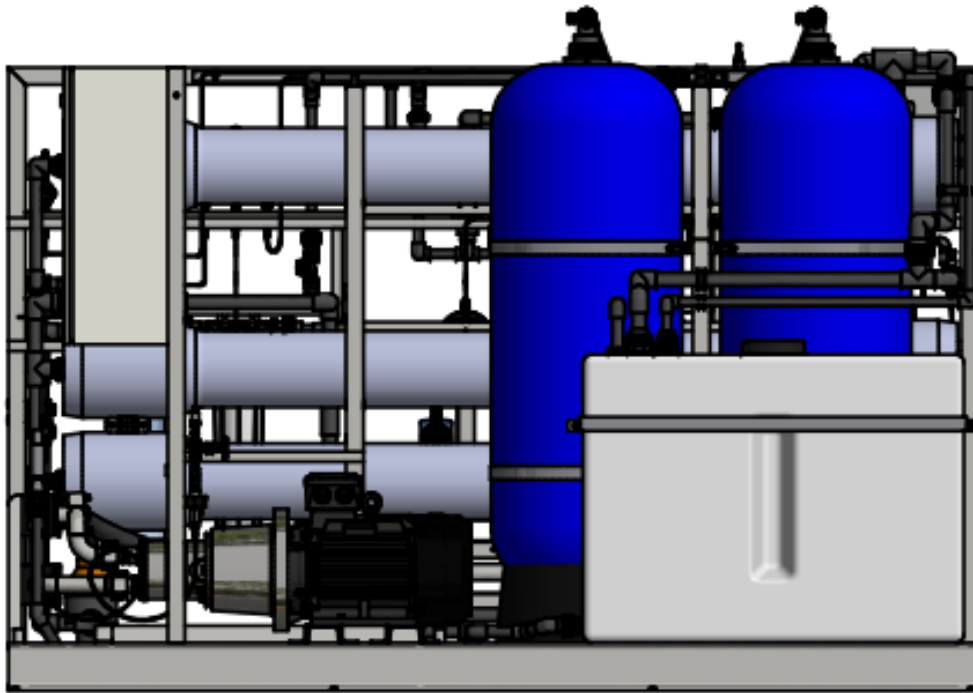


Figura 4.2: Arranjo Geral de um Sistema de Osmose Reversa
- Retirado de [33]

A Figura 4.2 acima apresenta o arranjo geral de um sistema de osmose reversa projetado em um software de desenho auxiliado por computador (CAD).

4.2 Consumo de Diesel pelas Caldeiras

O funcionamento das caldeiras consiste na queima de óleo diesel em uma fornalha (ou queimador) acoplado a esta, gerando calor que será transferido para a água presente em seu interior, realizando o processo de ebulição desta e produzindo vapor saturado. Este vapor será posteriormente condensado e tratado, tornando-se assim água potável.

A tabela 4.1 apresenta o consumo de diesel de uma caldeira a bordo do navio Petrobras 10000, em metros cúbicos por dia, ao decorrer de treze dias.

Tabela 4.1: Consumo de Diesel de uma Caldeira em m³/dia

		30-Nov	29-Nov	28-Nov	27-Nov	26-Nov	25-Nov	24-Nov	23-Nov	22-Nov	21-Nov	20-Nov	19-Nov	18-Nov
ERT Boiler	No.3 Delivery	1253	1246	1239	1232	1225	1217	1211	1203	1196	1189	1182	1175	1168
	No.4 Return	333	332	332	331	331	331	330	330	329	328	327	326	324
	Total	6	7	6	7	8	5	8	6	6	6	6	5	5

Apesar de possuir duas caldeiras em seu inventário de equipamentos, apenas uma é operada por vez na sonda. Assim, é possível estimar o consumo médio de diesel por dia em 6,23 m³/dia, por mês em 186,9 m³/mês e impressionantes 2273,95 m³ de diesel num período de um ano. Estes são os valores aproximados de redução no consumo de diesel que o projeto alcança em detrimento da substituição destes equipamentos pelos sistemas supracitados na seção anterior.

4.3 Análise Técnica das Capacidades das Caldeiras e do Sistema de Osmose Reversa

Para que haja uma paridade entre a capacidade produtiva das caldeiras e do novo sistema instalado, é necessário realizar uma comparação técnica entre ambos.

O sistema atualmente instalado é composto por duas caldeiras, como citado anteriormente, onde cada caldeira possui capacidade de produzir 65 m³/dia, totalizando 130 m³/dia ou ainda 5,4 m³/hora. Já a unidade individual do sistema de osmose reversa possui capacidade de produzir 59 m³/dia, trazendo assim a necessidade de instalação de duas unidades, totalizando 118 m³ de produção diária.

Ao realizar uma simples comparação, é possível notar que há uma diminuição de 12 m³/dia na capacidade produtiva do navio. Assim, faz-se necessário analisar o consumo médio da embarcação para que o projeto seja considerado viável.

A média diária de consumo de água potável do navio-sonda Petrobras 10000 varia entre 40 e 50 m³, podendo atingir a marca de 75 a 80 m³ quando testando o *Blowout Preventer* na superfície, o que geralmente ocorre a cada 3 meses e os testes possuem duração de 3 a 4 dias.

Logo, é possível concluir que, mesmo considerando um pico de consumo de 80 metros cúbicos por dia, o sistema de osmose reversa instalado engloba o *range* operacional necessário, possuindo assim uma capacidade produtiva de segurança de 38 metros cúbicos acima da máxima média registrada para um dia.

4.4 Análise Financeira de Implementação do Projeto

Além da análise de efetividade técnica, também é essencial checar a viabilidade financeira do projeto. Assim, para a obtenção do custo total do projeto é necessário adicionar, além das duas unidades de osmose reversa, oito aquecedores elétricos, seis para aquecimento do óleo diesel (um para cada motor) e dois para pré-aquecimento dos motores.

Em uma cotação recente, feita pela empresa Transocean em 2021, o custo de instalação dos sistemas de osmose reversa foi avaliado em \$195.000,00 (cento e noventa e cinco mil dólares), enquanto os aquecedores elétricos foram cotados em \$40.000,00 (quarenta mil dólares) cada, somando então \$320.000,00 (trezentos e vinte mil dólares) para os 8 equipamentos necessários. Então, é possível estimar o valor total do investimento no projeto em \$515.000,00 (quinhentos e quinze mil dólares), ou aproximadamente R\$2.566.245,00 (dois milhões, quinhentos e sessenta e seis mil, duzentos e quarenta e cinco reais) na cotação atual do dia 19 de maio de 2022.

Assim, faz-se necessário analisar qual seria o custo reduzido no consumo de óleo diesel para que seja possível comprovar a viabilidade financeira do projeto. Como citado anteriormente, o consumo médio diário de diesel pelas caldeiras é de aproximadamente 6,23 m³, para produzir uma média diária de 45 m³ de água potável, este consumo se traduz numa produção de cerca de 7,22 m³ de água para cada 1 m³ de diesel consumido. Segundo a ANP, no mês de maio de 2022, o custo médio pago por um metro cúbico de óleo diesel é de R\$6.840,00 (seis mil, oitocentos e quarenta reais), ou \$ 1.372,67 (mil, trezentos e setenta e dois dólares e sessenta e sete centavos de dólar). Com esse valor médio, há um custo diário total de \$8.551,73 (oito mil, quinhentos e cinquenta e um dólares e setenta e três centavos de dólar) para o diesel

consumido pelas caldeiras.

Um simples cálculo demonstra que, visto a redução do custo com o óleo diesel, o projeto irá alcançar o ponto de *breakeven*, ou seja, o investimento inicial será compensado em aproximadamente 61 dias, tornando o projeto viável a partir dessa curta janela de tempo. Visto isso, pode-se concluir que a iniciativa da Transocean em fornecer uma alternativa sustentável à relevante queima de combustível fóssil para os propósitos mencionados anteriormente se apresentou, comprovadamente, viável. É importante destacar que, historicamente, a Petrobras é responsável pelo custeio do diesel das unidades de perfuração contratadas offshore (informação não confirmada pela Transocean para o contrato da Petrobras 10000 devido a questões de confidencialidade). Nesse sentido, caso esse seja o modelo pactuado entre as empresas, pode-se observar a relevante redução de custos associada e a consequente e inquestionável contribuição para redução da pegada de carbono originada da queima do combustível fóssil em alinhamento com o Planejamento Estratégico apresentado no início deste capítulo, tópico que será abordado a seguir.

Capítulo 5

Impactos Ambientais e Cálculo das Emissões dos Gases do Efeito Estufa pelas Caldeiras

5.1 Introdução

São inúmeras as conferências ambientais que vem ocorrendo ao longo dos últimos anos, como a Conferência de Estocolmo, a ECO-92, a Conferência das Partes, a Rio +10, Rio +20, COP21, etc. Assim, especificamente discorrendo sobre as mudanças climáticas em detrimento das emissões de gases do efeito estufa, dois principais protocolos foram elaborados. O Protocolo de Kyoto, que foi assinado em 1997 por diversos países e passou a vigorar em 2005. Esse tinha como objetivo reduzir a emissão dos gases do efeito estufa produzidos pelos países desenvolvidos em pelo menos 5,2% até 2012, em relação ao ano de 1990. Posteriormente, o Protocolo de Kyoto foi substituído pelo Acordo de Paris, que visa reduzir a emissão dos gases citados anteriormente, para impedir que o aumento médio da temperatura do planeta ultrapasse os 2°C em comparação com as médias pré-industriais [34].

No ano de 2019, o consumo de petróleo e gás natural representou um patamar de 57% de toda a energia primária utilizada no mundo, explicitando o papel fundamental desta indústria no debate por sustentabilidade [35].

A Figura 5.1 a seguir representa a matriz energética mundial, subdividida em porcentagens para cada fonte energética distinta, no ano de 2019.

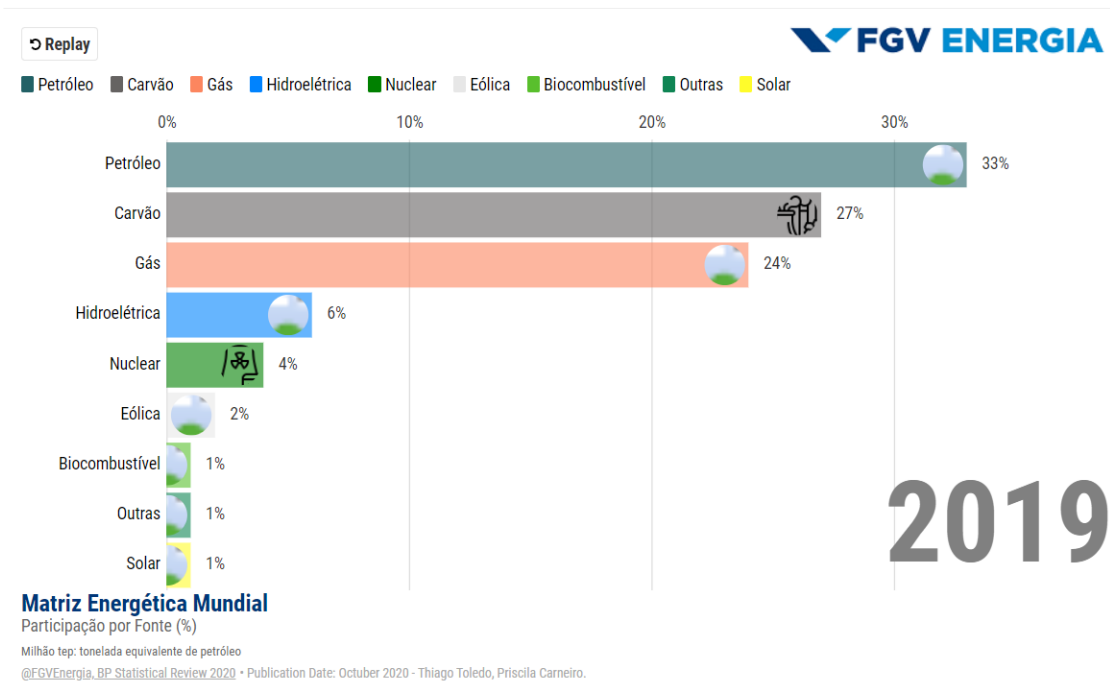


Figura 5.1: Porcentagem das Fontes Energéticas na Matriz Mundial

- Retirado de [35]

Diversos impactos ambientais, decorrentes do setor petrolífero, vem sendo estudados ao longo dos anos, visando desenvolver artifícios para mitigar tais riscos. Especificamente para o setor marítimo, alguns dos possíveis impactos são risco de acidentes e derramamento de óleo; vazamentos; catástrofes; desastre ecológico; poluição ambiental; degradação ambiental; desmatamento; impacto sobre ecossistemas marinhos e terrestres; potencial poluidor de praias, de costões rochosos, de manguezais, de águas oceânicas, das águas, dos rios; poluição do ar; estresse ambiental; alteração dos ecossistemas vizinhos; mudanças no ecossistema marinho/ costeiro; super exploração de recursos naturais; impactos na colocação de dutos; pesquisas sísmicas; riscos de vida; introdução de espécies exóticas; extinção de espécies; destruição da fauna aquática em caso de derramamento de óleo; esgotamento de jazidas; consumo e captação desordenada de água; lançamento de resíduos; aumento do esgoto; mananciais aterrados; pressão sobre o ambiente natural e sobre outros recursos naturais [36].

Além dos impactos causados ao meio ambiente, através da emissão de gases poluentes, as caldeiras representam um risco à integridade humana devido a alta complexidade de manutenção e funcionamento.

Ao longo dos últimos anos ocorreram trágicos acidentes envolvendo caldeiras nas mais diversas indústrias, incluindo a de perfuração de poços de petróleo e gás *offshore*. Em 2017, a explosão de uma caldeira a bordo do navio-sonda Norbe VIII (NS-32), localizado na Bacia de Campos, levou a óbito três trabalhadores e feriu levemente um.

Segundo um relatório publicado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, foram dois principais fatores causais que desencadearam a explosão: a não atuação do sistema de controle de pressão e a não atuação das válvulas de alívio de pressão. A Árvore de Falhas do Evento (ver Figura 5.2) exposta abaixo expõe as dez causas raiz que culminaram nos fatores causais.

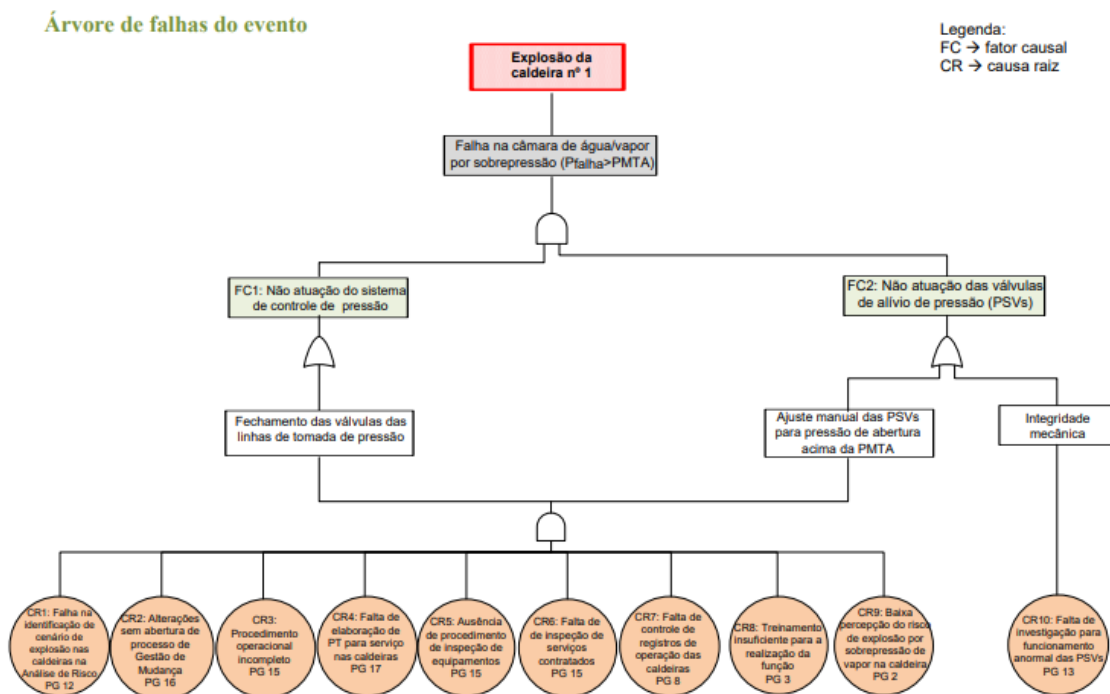


Figura 5.2: Árvore de Falhas da Explosão da Caldeira a Bordo da Embarcação NS-32

- Retirado de [37]

Foi analisado que, previamente a uma inspeção anual de pressão e temperatura das caldeiras, os engenheiros a bordo da embarcação operaram as caldeiras para testá-las. Durante esse teste, as válvulas de segurança pareciam, erroneamente, abrir a pressões reduzidas de 1,9 bar para uma das caldeiras e 5,9 bar para a outra, enquanto suas pressões de operação eram de 7 bar. Nas quatro subsequentes horas,

as caldeiras foram reiniciadas três vezes para novos testes, porém as válvulas de segurança permaneceram a se abrir em pressões reduzidas.

Após os técnicos de inspeção embarcarem no navio, as caldeiras ainda apresentavam o mesmo mau funcionamento nas válvulas de segurança, impossibilitando a inspeção. Assim, foi necessário desligar as caldeiras e deixá-las esfriar para que os técnicos pudessem analisar as válvulas de segurança de pressão. Após resfriadas, as válvulas de segurança de pressão da caldeira 1 foram reajustadas pelos engenheiros para que abrissem a uma pressão mais elevada.

Ao reativar as caldeiras no dia seguinte, essas apresentaram alarmes no painel de monitoramento que perduraram por 36 minutos, enquanto a equipe tentava solucionar o problema. Então, uma das caldeiras sofreu uma falha catastrófica por sobrepressão, causando três fatalidades.

A investigação conduzida pela ANP concluiu que os sensores de pressão da caldeira que causou o acidente não estavam em correto funcionamento e estavam exibindo falsas leituras de pressão. No entanto, a falta de precisão dos sensores de pressão supracitados não foi analisada no momento do ocorrido, culminando na decisão errônea de reprogramar as válvulas de segurança para abrir sob uma pressão mais elevada [38].

Apesar de tal acidente recente ter sido de grande comoção nacional e internacional, além de ter ocorrido no mesmo setor de perfuração de poços offshore, outros diversos acidentes envolvendo caldeiras ocorreram ao longo dos anos, como:

- Usina Coruripe (Alagoas, 2020)
- BR Distribuidora (Espírito Santo, 2015)
- Sonatrach Skikda (Argélia, 2004)
- REDUC (Rio de Janeiro, 1990)
- Dentre outros

Essa extensa lista de impactos explicita a necessidade de estudos e investimentos focados na preservação ambiental por parte desse setor. Assim, as próximas seções desse capítulo irão abordar os benefícios ecológicos e humanos alcançados com a implementação do projeto focal do presente trabalho.

5.2 Fator do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas

Os Gases do Efeito Estufa (GEE) se distinguem em 6 diferentes gases, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonatos (HFC), perfluorcarbonatos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF_6), sendo os três primeiros considerados os principais GEEs pela PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) [39].

Segundo um estudo realizado pelo Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, centro ligado ao Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), é possível estimar a emissão anual dos Gases do Efeito Estufa baseando-se no fator de emissão específico de cada combustível. Para o caso específico do presente trabalho, o combustível considerado será o Diesel Marítimo, que é utilizado no Navio-Sonda para diversas aplicações, incluindo o funcionamento das caldeiras. O principal poluente emitido na queima desse combustível é o dióxido de carbono (CO_2), e o fator supracitado, em kg/l , é multiplicado pelo volume anual de combustível consumido, em litros, resultando na emissão anual do dióxido de carbono em quilogramas [40].

A Tabela 5.1 apresenta os diferentes fatores de emissão de CO_2 referentes aos distintos combustíveis utilizados para o modo de transporte aquaviário, aéreo e ferroviário. Esta tabela, de elaboração do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, foi desenvolvida com base nos fatores de emissão da Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima do ano de 2016. Segundo tal comunicação nacional, as emissões de CO_2 , originadas da queima de combustíveis, foram calculadas de forma específica para o Brasil através das duas metodologias do IPCC. A primeira abordagem é a de referência ou Top-down, na qual as emissões de CO_2 são calculadas a partir da oferta de combustível. Já a segunda metodologia é a abordagem setorial, ou Bottom-up, na qual as emissões de CO_2 são calculadas a partir do consumo final energético de cada subsetor [40].

Tabela 5.1: Fatores de Emissão de CO_2 para Diferentes Combustíveis

Modo	Combustível	Poluente	Fator	Unidade
Aquaviário, Aéreo e Ferroviário	Gasolina A	CO_2	2,21	kg/l
	Etanol Anidro		1,46	
	Etanol Hidratado		1,53	
	Biodiesel		2,43	
	GNV		2,05	
	Diesel Mineral		2,60	
	Óleo combustível		3,10	
	Diesel Marítimo		3,10	
	Querosene de aviação		2,49	
	Gasolina de aviação		2,23	

Assim, em posse do fator de emissão de 3,10 para o Diesel Marítimo e o consumo médio das caldeiras da sonda, é possível estimar a emissão anual de dióxido de carbono, em kg, decorrente da queima do combustível.

Como citado na seção 4.2, o consumo médio de diesel marítimo por parte das caldeiras é de 2273,95 m³ no período de um ano. Para a aplicação de tal valor na Equação 5.1, é necessário realizar a conversão de metros cúbicos para litros, multiplicando esse valor por um fator da ordem de 10³. Assim, o consumo médio anual das caldeiras é de 2.273.950 litros de diesel e é possível desenvolver a Equação 5.1 a seguir:

$$E_{mg}^A = \sum_k Vol_{A,k,m} * Fe_{gk} \quad (5.1)$$

$$E_{mg}^A = 2.273.950l * 3,10kg/l$$

$$E_{mg}^A = 7.049.245kg$$

$$E_{mg}^A \approx 7.049,25 \text{ toneladas de } CO_2$$

Onde,

E_{mg}^A é a emissão anual do gás do efeito estufa, CO_2 , para o modo de transporte aquaviário, aéreo ou ferroviário.

$Vol_{A,k,m}$ é o volume anual, em litros, consumido do combustível selecionado para o modo de transporte aquaviário, aéreo ou ferroviário.

Fe_{gk} é o fator de emissão do gás do efeito estufa, CO_2 , em kg/l, sendo suscetível aos diferentes combustíveis.

Logo, conclui-se que no período de um ano, através do modelo do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, o funcionamento das caldeiras gera 7.049.245 kg de CO_2 , ou ainda, 7.049,25 toneladas de CO_2 .

5.3 Fator do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido

Além do fator supracitado, é possível desenvolver um estudo adicional de cálculo baseado nos fatores apresentados pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido.

Os fatores de emissão de CO_2 por combustível são independentes da aplicação final deste, visto que é considerado que todo o combustível é oxidado e queimado. Serão utilizados os fatores mais atuais, do ano de 2022, que foram calculados com base nos estudos de 2020 e 2019 denominados como *Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting* e conduzidos pela empresa Ricardo Energy & Environment [41].

Os cálculos dos fatores citados anteriormente são desenvolvidos para que empresas sediadas no Reino Unido, ou empresas internacionais que possuem operações no Reino Unido, possam dimensionar os gases do efeito estufa que são emitidos pela companhia.

Tais fatores são utilizados por diversas organizações ao redor do mundo, incluindo a *Transocean*, companhia que atualmente opera o Navio-Sonda Petrobras 10000.

A Tabela 5.2, de confecção própria baseada nos fatores de emissão cedidos pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido, apresenta os fatores de emissão de CO_2 para o óleo diesel marítimo. A

massa específica utilizada para a conversão dos fatores do óleo diesel marítimo foi de, aproximadamente, 854 kg/m^3 [41].

Tabela 5.2: Fatores de Emissão Publicados pelo Governo do Reino Unido para o Óleo Diesel Marítimo

Combustível	Unidade	Kg de CO_2 por unidade
Óleo Diesel Marítimo	Toneladas	3.205,99
	Litros	2,73782

Assim como na abordagem anterior, é possível utilizar a Equação 5.1 para o cálculo das emissões de CO_2 das caldeiras do presente objeto de estudo. Para isso, será aplicado o fator de $2,73782 \text{ kg/l}$, como demonstrado a seguir:

$$E_{mg}^A = \sum_k Vol_{A,k,m} * Fe_{gk}$$

$$E_{mg}^A = 2.273.950l * 2,73782 \text{ kg/l}$$

$$E_{mg}^A = 6.225.666 \text{ kg}$$

$$E_{mg}^A \approx 6.225,67 \text{ toneladas de } \text{CO}_2$$

Onde,

E_{mg}^A é a emissão anual do gás do efeito estufa, CO_2 , para o modo de transporte aquaviário, aéreo ou ferroviário.

$Vol_{A,k,m}$ é o volume anual, em litros, consumido do combustível selecionado para o modo de transporte aquaviário, aéreo ou ferroviário.

Fe_{gk} é o fator de emissão do gás do efeito estufa, CO_2 , em kg/l , sendo suscetível aos diferentes combustíveis.

Logo, conclui-se que no período de um ano, através do modelo do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido, o funcionamento das caldeiras gera $6.225.666 \text{ kg}$ de CO_2 , ou ainda, $6.225,67$ toneladas de CO_2 .

5.4 Fator da Organização Marítima Internacional

A fim de validação dos cálculos, é de suma importância comparar os valores encontrados a partir de diferentes métodos e normas. Assim, esta seção discorrerá sobre os fatores utilizados no Terceiro Estudo de Gases do Efeito Estufa, realizado pela Organização Marítima Internacional no ano de 2014 e publicado no ano de 2015.

Estes fatores foram desenvolvidos pela Organização, em $\text{kg } CO_2/\text{Tonelada de Combustível}$. Então, é necessário adquirir conhecimento quanto à massa específica do óleo diesel marítimo utilizado, para que seja possível realizar a conversão do consumo anual de combustível de metros cúbicos para toneladas.

Ainda, este terceiro modelo tem como objetivo especificar o cálculo para o combustível brasileiro, convertendo um método generalizado internacional para um específico, utilizando as características técnicas do real combustível consumido pelas caldeiras do Navio-Sonda Petrobras 10000

O Óleo Diesel Marítimo, também conhecido como MGO (Marine Gasoil) ou DMA, é utilizado nos motores principais de grande porte das embarcações, assim como combustível para as caldeiras.

A Tabela 5.3 apresenta as especificações técnicas de distintas classificações de óleo diesel marítimo, segundo a Petrobras, incluindo a massa específica do óleo diesel marítimo DMA a 20°C , em kg/m^3 [42].

Tabela 5.3: Especificação de Óleos Diesel Marítimos

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE TIPO		MÉTODO	
		DMA	DMB	ABNT NBR	ASTM / IP/ ISO
Aspecto	-	LII (2)	anotar	Visual	-
Cor ASTM, máx.	-	3	-	14483	ASTM D1500
Enxofre Total, máx.	% massa	0,5		14533	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453 ISO 8754 ISO 14596
Sulfeto de hidrogênio, máx.	mg/kg	2,0		-	IP 570
Número de acidez, máx.	mg KOH/g	0,5		14448	ASTM D664
Massa Específica a 20°C, máx.	kg/m ³	876,8	896,8	7148 14065	ASTM D1298 ASTM D4052 ISO 3675 ISO 12185
Ponto de Fulgor, mín.	°C	60,0		14598	ASTM D93 ISO 2719
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	2,0 - 6,0	2,0 - 11,0	10441	ASTM D445 ISO 3104
Ponto de Fluidez, máx.	Tipo inverno	-6	0	11349	ASTM D97 ISO 3016
	Tipo verão	0	6		
Índice de Cetano, mín.	-	40	35	14759	ASTM D4737 ISO 4264
Resíduo de Carbono no resíduo dos 10 % finais de destilação, máx.	% massa	0,30	-	15586	ASTM D4530 ISO 10370
Resíduo de Carbono, máx.	% massa	-	0,30		
Cinzas, máx.	% massa	0,010		9842	ASTM D482 ISO 6245
Água, máx.	% vol.	-	0,30	14236	ASTM D95 ISO 3733
Estabilidade à oxidação, máx.	g/m ³	25	25 (3)	-	ASTM D2274 ISO 12205
Sedimentos, máx.	% massa	-	0,10 (4)	-	ASTM D4870 ISO 10307-1
Lubricidade, máx. (5)	µm	520		-	ASTM D6079 ISO 12156-1

(1) Admite-se um teor máximo de 0,1 % em volume de biodiesel aos óleos diesel marítimos pelo método ABNT NBR 15568 ou EN 14078.

(2) Limpido e isento de impurezas.

(3) A determinação desta característica é requerida quando o produto se apresentar limpo e isento de impurezas.

(4) A determinação desta característica é requerida quando o produto não se apresentar limpo e isento de impurezas.

(5) A determinação desta característica é requerida quando a amostra for limpa e o enxofre total for inferior a 0,05 % massa.

A partir da massa específica, é possível calcular o peso do combustível em quilogramas, tendo como base o volume em metros cúbicos. O cálculo é demonstrado na equação a seguir:

$$\mu = \frac{m^A}{V} \quad (5.2)$$

$$m^A = \mu * V$$

$$m^A = 876,8 \text{ kg/m}^3 * 2273,95 \text{ m}^3$$

$$m^A = 1.993.799,36 \text{ kg}$$

$$m^A \approx 1.993,80 \text{ toneladas}$$

Onde,

μ é a massa específica do óleo diesel marítimo DMA a 20°C, em kg/m^3 .

m^A é a massa de combustível consumida durante um ano de operação das caldeiras.

V é o volume de combustível consumido, em metros cúbicos, durante um ano de operação das caldeiras.

AA seguir, é apresentada a Tabela 5.4, que apresenta os fatores de emissão calculados pela Organização Marítima Internacional através da metodologia *bottom up* aplicada nos inventários de emissão entre os anos de 2007 e 2012. O teor de emissão de carbono de cada tipo de combustível é constante e não é afetado pelo tipo de motor ou ciclo de trabalho [43].

A Tabela 5.4, de confecção própria baseada nos fatores de emissão cedidos pela Organização Marítima Internacional, apresenta os fatores de emissão, em kg de CO_2 /tonelada de combustível consumido, Óleo Combustível Pesado, Óleo Diesel Marítimo e Gás Natural Liquefeito.

Tabela 5.4: Fatores de Emissão de CO_2 por Classificação de Combustível

Combustível	Fator de Emissão de CO_2
Óleo Combustível Pesado	3.114 kg CO_2 /tonelada de combustível
Óleo Diesel Marítimo	3.206 kg CO_2 /tonelada de combustível
Gás Natural Liquefeito	2.750 kg CO_2 /tonelada de combustível

Em posse da massa de óleo diesel marítimo consumida no período de um ano e do fator de emissão de dióxido de carbono, 3.206 kg CO_2 /tonelada de combustível, proveniente da queima do óleo diesel, é possível calcular a emissão total de CO_2 por parte das caldeiras através deste método, conforme a equação a seguir:

$$E_{\text{CO}_2}^A = m^A * FE_{\text{CO}_2} \quad (5.3)$$

$$E_{\text{CO}_2}^A = 1.993,8 \text{ ton} * 3.206 \text{ kgCO}_2/\text{ton}$$

$$E_{CO_2}^A = 6.392.122,8 \text{ kg}CO_2$$

$$E_{CO_2}^A = 6.392,12 \text{ toneladas de } CO_2$$

Onde,

$E_{CO_2}^A$ é a emissão anual de dióxido de carbono.

m^A é a massa de combustível consumida, em toneladas, durante um ano de operação das caldeiras.

FE_{CO_2} é o fator de emissão de dióxido de carbono, em kg CO_2 /tonelada de combustível, a partir da queima de Óleo Diesel Marítimo (MGO).

Ainda, vale ressaltar que os fatores de emissão de CO_2 a partir do óleo diesel marítimo, em kg CO_2 /tonelada de combustível, são semelhantes entre o modelo do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido e o modelo da Organização Marítima Internacional. A diferença se mostra evidente somente nos fatores calculados em kg CO_2 /litro, em decorrência da diferença entre as massas específicas utilizadas.

Assim, essa aplicação se torna essencial, pois enquanto a seção anterior levou em conta uma massa específica de, aproximadamente, $854 \text{ kg}/m^3$, a atual seção considerou a massa específica utilizada na embarcação, $876,8 \text{ kg}/m^3$.

5.5 Comparação Entre os Fatores de Cálculo das Emissões dos Gases do Efeito Estufa pelas Caldeiras

Em posse dos resultados encontrados através dos três fatores distintos, é necessário realizar uma análise estatística dos dados para que seja possível comprovar a compatibilidade dos valores.

Para isto, serão calculados o valor médio, o desvio padrão, a incerteza do valor médio e as discrepâncias.

A Equação 5.4 apresenta o valor médio entre o resultado obtido através do fator do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, o

fator do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido e o fator da Organização Marítima Internacional.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5.4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\bar{x} = \frac{1}{3}(7.049,25 + 6.225,67 + 6.392,12)$$

$$\bar{x} = 6.555,68 \text{ toneladas de } CO_2$$

A Equação 5.5 apresenta a estimativa para o desvio padrão entre o resultado obtido através do modelo do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, o modelo do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido e o modelo da Organização Marítima Internacional. Em posse deste número, é possível analisar o grau de dispersão entre os três valores.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (5.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{(x_i - 6.555,68)^2}{3 - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(7.049,25 - 6.555,68)^2}{2} + \frac{(6.225,67 - 6.555,68)^2}{2} + \frac{(6.392,12 - 6.555,68)^2}{2}}$$

$$\sigma = 435,47 \text{ toneladas de } CO_2$$

Em sequência, a Equação 5.6 apresenta o cálculo da incerteza do valor médio.

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{435,47}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = 251,42 \text{ toneladas de } CO_2$$

Assim, após realizar uma interpretação analítica dos três distintos modelos, é possível apresentar a representação padrão da estimativa dos resultados combinados:

$$\approx (6.555,68 \pm 251,42) \text{ toneladas de } CO_2$$

A fim de comprovar a compatibilidade dos resultados dos três fatores, será utilizado o valor médio como um valor de referência para o cálculo das discrepâncias dos três resultados.

Será considerado um resultado compatível caso a discrepância absoluta seja menor que duas vezes a incerteza do valor médio.

A Equação 5.7 apresenta o cálculo da discrepância absoluta e será aplicada aos distintos modelos, seguida por uma análise de compatibilidade.

$$d = |x - x_{ref}| \tag{5.7}$$

$$d < 2\sigma_{\bar{x}} \longrightarrow \textit{Compatível}$$

$$d < 502,84 \longrightarrow \textit{Compatível}$$

Para o fator do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas:

$$d = |7.049,25 - 6.555,68|$$

$$d = 493,57$$

$$493,57 < 2\sigma_{\bar{x}} \longrightarrow \textit{Compatível}$$

Para o fator do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido:

$$d = |6.225,67 - 6.555,68|$$

$$d = 330,01$$

$$330,01 < 2\sigma_{\bar{x}} \longrightarrow \textit{Compatível}$$

Para o fator da Organização Marítima Internacional:

$$d = |6.392,12 - 6.555,68|$$

$$d = 163,56$$

$$163,56 < 2\sigma_{\bar{x}} \longrightarrow \textit{Compatível}$$

Então, conclui-se que os três modelos apresentaram resultados compatíveis com o valor médio de referência.

Além disso, é importante realizar uma breve análise da participação do consumo de energia do sistema de osmose reversa no balanço energético do projeto. Segundo cotação realizada pela empresa Transocean, a potência necessária para o sistema de osmose reversa é de 23 kW, ao considerar um funcionamento de 24 horas por dia, tem-se o consumo diário em kWh:

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potência (kW)} * \text{Tempo (h)}$$

$$\text{Consumo} = 23 * 24$$

$$\text{Consumo} = 552 \text{ kWh}$$

Segundo a empresa Luminus, é estimado que o rendimento de um gerador de energia a diesel atinja entre 36 e 41%, consumindo 0,26 litro de diesel por kWh gerado para consumo. Assim, é possível estimar o consumo diário de diesel por parte do sistema de osmose reversa e analisar sua fração em relação ao consumo das caldeiras [44].

$$\text{Consumo de diesel (l)} = 552 \text{ kWh} * 0,26 \text{ l/kWh}$$

$$\text{Consumo de diesel} = 143,52 \text{ l}$$

Comparando ao consumo diário das caldeiras de 6.230 litros:

$$= \frac{143,52}{6230} * 100$$

$$= 2,3\%$$

Assim, a participação do sistema de osmose reversa no balanço energético representa 2,3% do representado pelas caldeiras, comprovando ser irrisório o consumo de energia do sistema de osmose reversa em relação ao cálculo de emissões.

5.6 Comparativo entre a Emissão de CO_2 pelas Caldeiras e pelos Modos de Transporte Convencionais

Com o objetivo de estabelecer um comparativo entre os valores emitidos pelas caldeiras e os emitidos por maquinários convencionais, presentes no dia a dia da população, serão calculadas as emissões de automóveis de passeio e de veículos pesados.

A Tabela 5.5 apresenta o rendimento energético, as emissões de CO_2 por fonte energética e os fatores de emissão de CO_2 por quilômetro percorrido, de acordo com as distintas modalidades: metrô, ônibus, automóvel, motocicleta e veículos pesados [45].

Tabela 5.5: Fatores de Emissão Quilométrica de CO_2 por Modo de Transporte

Rendimento quilométrico e emissões de CO_2 por modalidade			
Modalidade	Rendimento energético km/l ou km/kWh (A)	Emissões por fonte energética kg de CO_2 /l ou kWh (B)	Emissões quilométricas kg de CO_2 /km (B/A)
Metrô	0,028	0,087	3,16
Ônibus	2,5	3,200	1,28
Automóvel ¹	8,5	1,747	0,19
Motocicleta ²	30	2,307	0,07
Veículos pesados	2,5	3,2	1,28

Então, um simples cálculo demonstra a quantidade necessária de distintos veículos para, durante o período de um ano, atingir um valor de emissão similar ao produzido pelas caldeiras. Será utilizada a equação a seguir, adaptada do estudo "Emissões Relativas de poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros", para explicitar uma comparação entre as emissões dos automóveis de passeio, veículos pesados e as caldeiras [45].

$$N = \frac{E^A}{F * Km/D * 365} \quad (5.8)$$

$$N = \frac{6.555.680}{0,19 * 50 * 365}$$

$$N \approx 1.891 \text{ automóveis}$$

Onde,

E^A é a emissão anual, em quilogramas, do gás do efeito estufa, CO_2 , para o veículo selecionado.

N é o número total de veículos.

F é o fator de emissão quilométrica de kg de CO_2 /km, variando de acordo com os distintos veículos.

Km/D é a quilometragem diária percorrida por cada veículo, que foi determinada em 50 quilômetros por dia a fim de comparação.

Assim, essa trivial equação conclui que seriam necessários 1.891 automóveis de passeio, percorrendo 50 quilômetros por dia durante um ano para emitir, aproximadamente 6.555.680 quilos de CO_2 , o mesmo nível produzido pelas caldeiras.

Para veículos pesados utilizando o mesmo parâmetro anterior de 50 quilômetros percorridos por dia, é obtido:

$$N = \frac{6.555.680}{1,28 * 50 * 365} \tag{5.9}$$

$$N \approx 281 \text{ veículos pesados}$$

Logo, seriam necessários 281 veículos pesados percorrendo 50 quilômetros por dia durante um ano para emitir, aproximadamente 6.555.680 quilos de CO_2 , o mesmo nível de CO_2 emitido pelas caldeiras.

Esses valores de elevada ordem de grandeza explicitam ainda mais a necessidade de implementação do projeto, reduzindo assim drasticamente as emissões decorrentes do Navio-Sonda Petrobras 10.000.

Capítulo 6

Considerações Finais

6.1 Conclusão

Nesse trabalho foram apresentadas as características gerais de um navio-sonda focado em perfuração de poços de petróleo offshore para posterior análise de um projeto, em andamento, que discorre sobre a desativação das caldeiras encontradas a bordo e a instalação de equipamentos de osmose reversa e aquecedores elétricos.

O discorrimento quanto à exequibilidade técnica e a viabilidade econômica do estudo compreende suma importância em relação a possibilidade real de efetivação do estudo, resultando assim em benefícios para a indústria, a empresa Transocean, as empresas operadoras que por ventura venham a utilizar de seus serviços e para o meio ambiente de forma geral.

Além disso, o presente trabalho também foi essencial para mensurar a emissão de um dos gases do efeito estufa, CO_2 , por parte das caldeiras, que foi determinada em 7.049,25 toneladas por ano através do fator do Centro de Estudos Integrados Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, 6.225,67 toneladas por ano através do fator do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Governo do Reino Unido, além do cálculo através do fator da Organização Marítima Internacional que resultou em 6.392,12 toneladas por ano. Após uma análise estatística, a estimativa de valor médio encontrada foi de $(6.555,68 \pm 251,42)$ toneladas de CO_2 . Esse valor excessivo deixará de ser liberado a atmosfera com a implementação do projeto.

Como sugestão para estudos futuros, outros modelos para o cálculo de emissões podem ser aprofundados, gerando assim mais dados para uma análise estatística

mais conclusiva e de maior exatidão. Ainda, aditivos vem sendo desenvolvidos para serem incorporados ao combustível com o objetivo de reduzir, não somente o consumo, mas também a emissão de gases do efeito estufa, otimizando assim o uso do diesel e de outros combustíveis. Um trabalho acerca do tema englobaria benefícios econômicos e ao meio ambiente, podendo ser aplicado nos mais diversos setores da economia.

Referências Bibliográficas

- [1] CALDAS, S., “Opep mantém previsão de alta na demanda por petróleo em 4,2 mi de barris por dia”, *CNN Brasil*, 2022, Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/opep-mantem-previsao-de-alta-na-demanda-por-petroleo-em-42-mi-de-barris-por-dia/>>. Acesso em: 15 de maio de 2022.
- [2] QUIROA, M., “La importancia del petróleo: ¿Por qué es determinante en la economía?” *Economipedia*, 2019, Disponível em: <<https://economipedia.com/actual/por-que-el-precio-del-petroleo-es-determinante-en-la-economia-mundial.html>>. Acesso em: 15 de junho de 2022.
- [3] THOMAS, J. E., *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. 1st ed. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobras, 2001.
- [4] “Derrick”, *Wikipedia*, 2022, Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Derrick>>. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [5] MALOUF, L. R., “Análise das Operações de Perfuração de Poços Terrestres e Marítimos”, *Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Petróleo*, 2013.
- [6] “Hydraulic Catwalks”, *Forum Energy Technology*, 2019, Disponível em: <<https://www.f-e-t.com/wp-content/uploads/2019/09/mariner-series-catwalks.pdf>>. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [7] IRAMINA, W. S., “Sistemas de Uma Sonda De Perfuração”, *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2016, Disponível em: < [https](https://www.usp.br/pt-br/engenharia/engenharia-de-petroleo) :

[//edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1749727/mod_resource/content/2/Aula%202.pdf](http://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1749727/mod_resource/content/2/Aula%202.pdf) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.

- [8] “Swivel”, *Sino Petroleum Machinery CO.*, 2019, Disponível em: < [https : //sinopropetroleum.en.alibaba.com/search/product?SearchText = swivel](https://sinopropetroleum.en.alibaba.com/search/product?SearchText=swivel) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [9] “Drawworks para peças de perfuração de Óleo”, *Dongying Hongsheng Petroleum Equipment Co.*, 2017, Disponível em: < [https : //pt.made – in – china.com/co_hongshengoil/product_Drawworks – for – Oil – Drilling – Rig – Parts_hsgoriig.html](https://pt.made-in-china.com/co_hongshengoil/product_Drawworks_for_Oil_Drilling_Rig_Parts_hsgoriig.html) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [10] “Buchas do Kelly”, *Cotema*, 2021, Disponível em: < [https : //www.cotema.com.br/equipamento/buchas – do – kelly/](https://www.cotema.com.br/equipamento/buchas-do-kelly/) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [11] “Top Drive in Drilling Components, Pros Maintenance Steps”, *Drilling Manual*, 2021, Disponível em: < [https : //www.drillingmanual.com/top – drive – system – drilling – rig/](https://www.drillingmanual.com/top-drive-system-drilling-rig/) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [12] “Top Drive System”, *Bomcabras*, 2021, Disponível em: < [http : //www.bomcabras.com.br/produto/top – drive – system](http://www.bomcabras.com.br/produto/top-drive-system) >. Acesso em: 16 de junho de 2022.
- [13] “Safety enhanced in NOV’s ST-120 iron roughneck”, *Drilling Contractor*, 2010, Disponível em: <<https://www.drillingcontractor.org/safety-enhanced-innov%E2%80%99s-st-120-iron-roughneck-7320>>. Acesso em: 17 de junho de 2022.
- [14] MACEDO, D. D. V., “Gerenciamento de integridade de vasos de pressão e tubulações em unidades de perfuração marítima”, *Projeto de Graduação - UFRJ/ POLI/ Engenharia Naval e Oceânica*, 2018.
- [15] “Ruído de chaleira da caldeira: o que é, como verificar e como corrigi-lo”, *O Petróleo*, 2020, Disponível em: <<https://opetroleo.com.br/ruído-de-chaleira-da-caldeira-o-que-e-como-verificar-e-como-corrigi-lo/>>. Acesso em: 17 de junho de 2022.

- [16] “Mud Pumps”, *Bentec*, 2018, Disponível em: <<https://www.bentec.com/equipment/mechanical-drilling-rig-equipment/mud-pumps/mud-pumps.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2022.
- [17] “Sistema de circulação”, *Sonda de Perfuração*, Disponível em: <<https://sondadeperfuracao.weebly.com/sistema-de-circulaccedilatildeo.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2022.
- [18] WHITEFORD, S., “How do Azimuth Thrusters work?” *OneStep Power*, 2021, Disponível em: <<https://www.onestepower.com/post/azimuth-thrusters>>. Acesso em: 18 de junho de 2022.
- [19] HADDAD, S. D. M., “Posicionamento Dinâmico de Plataformas Semi-Submersíveis em Ambiente Multidirecional”, *COPPE/UFRJ, D.Sc., Programa de Engenharia Oceânica*, 2003.
- [20] “Sistema de Posicionamento Dinâmico”, *Vagas Offshore*, 2009, Disponível em: <<http://vagaoffshore.blogspot.com/2009/09/sistema-de-posicionamento-dinamico.html>>. Acesso em: 19 de junho de 2022.
- [21] MIRANDA, D. A. D. A.; GUIMARÃES, I. D. O., “Um Estudo Sobre os Principais Sistemas que Compõem uma Sonda de Perfuração”, *Paraíba: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia*, 2021.
- [22] AGUIAR, R. O. D., “Condicionamento e Comissionamento Dos Sistemas Elétricos da Sonda Petrobras II 10000”, *Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo*, 2010.
- [23] TSUKADA R., YAMAMOTO, M., “Análise de Operação da Instalação de Risers e Descida de BOP em Sondas Flutuantes de Perfuração”, *Campinas, UNICAMP/FEM/DEP*, 2007.
- [24] WETHE, D., “BOP Blowout”, *GCaptain*, 2012, Disponível em: <<https://gcaptain.com/blowout-4-5-billion-surge-orders/>>. Acesso em: 20 de junho de 2022.

- [25] “Preventor de erupção de gaveta”, *Cameron*, Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/cameron/product-121905-2223497.html>>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- [26] “Preventor de explosão”, *Gaoton Petroleum*, Disponível em: <<http://pt.gaotonpetroleum.com/wellhead-equipment/blowout-preventor.html>>. Acesso em: 20 de junho de 2022.
- [27] ZAMPIROLI B.S., MARQUES, R., “Modelos Tridimensionais Aplicados à Engenharia de Plataformas de Petróleo Offshore: Etapas de Perfuração e Riscos Ambientais”, *Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Geologia*, 2020.
- [28] MANSANO, R. B., “Engenharia de Perfuração de Completação em Poços de Petróleo”, *Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Engenharia de Petróleo*, 2004.
- [29] ABELHA, M., “Panorama Exploratório das Bacias de Santos e Campos”, *Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural*, 2021.
- [30] NOGUEIRA, P., “A Transocean obteve uma extensão de contrato do navio-sonda Petrobras 10000”, *Click Petróleo e Gás*, 2018, Disponível em: <<https://clickpetroleoegas.com.br/transocean-obteve-uma-extensao-de-contrato-do-navio-sonda-petrobras-10-000/>>. Acesso em: 26 de junho de 2022.
- [31] “Dual activity drilling turns in 20-40% time savings”, *Drilling Contractor*, 2001, Disponível em: <<https://www.drillingcontractor.org/dcpi/2001/dc-septoct01/s1-dualact.pdf>>. Acesso em: 26 de junho de 2022.
- [32] “Relatório de Sustentabilidade 2021”, *Petrobras*, 2021, Disponível em: <<https://www.investidorpetrobras.com.br/apresentacoes-relatorios-e-eventos/relatorios-anuais/compromissos-de-sustentabilidade><. Acesso em: 28 de junho de 2022.

- [33] “Water desalination”, *HatenboerWater*, 2017, Disponível em: <<https://www.hatenboer-water.com/water-desalination/>>. Acesso em: 28 de junho de 2022.
- [34] GUITARRARA, P., “Protocolo de Kyoto”, *Brasil Escola*, Disponível em: <Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/protocolo-kyoto.htm>>. Acesso em: 30 de junho de 2022.
- [35] TOLEDO T. , CARNEIRO, P., “Dados - Matriz Energética”, *FGV Energia*, 2020, Disponível em: <<https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>>. Acesso em: 30 de jun. de 2022.
- [36] SILVA, J., “Petróleo e Gás na Bacia de Campos (RJ): Percepção dos Impactos Ambientais pela População”, *Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia*, 2008.
- [37] COSTA, D. F. O. D., “Relatório de Investigação de Incidente - Sonda Marítima Norbe VIII (NS-32)”, *Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível*, 2018.
- [38] “Real Life Incident: Boiler Overpressure On Ship Causes Three Fatalities”, *Marine Insight*, 2022, Disponível em: <<https://www.marineinsight.com/case-studies/real-life-incident-boiler-overpressure-on-ship-causes-three-fatalities/>>. Acesso em: 02 de jul. de 2022.
- [39] PASCOAL, F., “Poluição do Ar por Navios Movidos a Óleo Diesel”, *Rio de Janeiro, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha*, 2012.
- [40] GONÇALVES D., OLIVEIRA, L., “Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental”, *Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pósgraduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – LTC/COPPE/UFRJ*, 2021.

- [41] “Government conversion factors for company reporting of greenhouse gas emissions”, *Reino Unido, Department for Business, Energy Industrial Strategy, 2022*, Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>>. Acesso em: 09 de jul. de 2022.
- [42] “Combustíveis Marítimos”, *Petrobras, 2021*, Disponível em: < https://petrobras.com.br/data/files/02/83/FA/2C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Manual_Combustiveis_Maritimos_2021.pdf >. Acesso em: 10 de jul. de 2022.
- [43] “Third IMO Greenhouse Gas Study 2014”, *International Maritime Organization, 2015*, Disponível em: <<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>>. Acesso em: 07 de jul. de 2022.
- [44] “Quanto gera em energia um gerador a diesel?” *Luminus Eletricidade*, Disponível em: <<https://www.luminuseletricidade.com.br/>>. Acesso em: 30 de jul. de 2022.
- [45] CARVALHO, C. H., “Emissões Relativas de poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros”, *Brasília, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2011*.

Apêndice A

A.1 Características Técnicas do Navio-Sonda Petrobras 10000

PETROBRAS 10000 ULTRA-DEEPWATER DUAL-ACTIVITY DRILLSHIP



For additional information please contact:

Transocean
Marketing Department
4 Greenway Plaza
Houston, TX 77046, USA
Phone: + 1-713-232-7500
Fax: + 1-713-232-7880
marketing@deepwater.com
www.deepwater.com

General Description

Design / Generation	Samsung 10,000 Double Hull
Constructing Shipyard	Samsung Heavy Industries South Korea
Year Entered Service / Significant Upgrades	2009
Classification	ABS +A1(E)
Flag	Marshall Islands
Dimensions	748 ft. long x 137 ft. wide x 62 ft. deep
Drafts	39 ft. operating / 28 ft. transit
Accommodation	199 persons
Displacement	108,024 st operating
Variable Deck	22,046 st operating / 18,188 st transit
Transit Speed	up to 12 knots
Maximum Water Depth	12,000 ft designed / 10,000 ft outfitted
Maximum Drilling Depth	37,000 ft

Power & Machinery

Main Power	6 x Wartsila 16V32 diesel engines rated at 7,290 kW, 720 rpm, each driving 1 x 8,750 kVA ABB/AMG 0900 x U10 generators.
Emergency Power	1 x Lindenberg-Anlagen MTU 12V 4000P 81 diesel engine rated at 1,600 kW, at 1,800 rpm driving 1 x Leroy Somer LSAM generator.
Power Distribution	11kV, 440V, 60 Hz, 3-phase drilling drive system.

Storage Capacities

Fuel Oil	38,900 bbl
Liquid Mud	5,500 bbl active / 6,000 bbl reserve
Base Oil	2,800 bbl
Brine	2,800 bbl
Drill Water	17,600 bbl
Potable Water	8,100 bbl
Bulk Material	(mud + cement) 32,490 cu.ft.
Sack Storage	10,000 sacks

Drilling Equipment

Derrick	NOV Dual Dynamic Bottle Neck, 200 ft. high, with 80 ft. x, 80 ft. base.
Hookload Capacity	(Main) 2,000,000 lbs. gross nominal capacity (Aux) 972,000 lbs. gross nominal capacity
Drawworks	(Main) NOV SSGD-1000-5750-55-82-10.5, 5 x Baylor CM 628-TUT electric motors; rated at 5,750 hp and 2,000,000 lbs. with 12 x 2 inch drilling lines strung. (Aux) NOV SSGD-1000-5750-55-82-10.5, 5 x Baylor CM 628-TUT electric motors; rated at 5,750 hp and 2,000,000 lbs with 12 x 2 inch drilling lines strung.
Compensator	(Main) NOV CMC-1000/2000-25, rated at 1,000,000 lbs. compensated and 2,000,000 lbs. locked with a 25 ft. stroke active heave compensation (Aux) NOV CMC-1000/2000-25 same rating as main and active heave compensation.
Rotary Table	(Main) NOV RST605-2G with a 60-1/2 inch opening and rated at 1,000 st. (Aux) NOV RST605-2G same rating as Main.
Top Drive	(Main) NOV HPS 1000 2E-AC-KT 907 st capacity driven by 2 x GE GEB AC motors rated at 78,450 ft.-lbs. continuous drilling torque in low gear. (Aux) Same as above.
Tubular Handling	Dual Hydro-Racker system HR-IV pipe racking system, complete with 2 x Hydratong MPT-200 and 1 x NOV MHP-10-15 Power Mousehole.
Riser Feed	19 x 21 inch riser at a length of 90 ft.
Mud Pumps	4 x NOV 2,700 hp triplex pumps, each driven by 2 x Baylor CM628TUT traction motors.
HP Mud System	Rated for 7,500 psi.
Solids Control	6 x NOV VSM 300 high speed linear motion shale shakers

BOP & Subsea Equipment

BOP Rams	Shaffer 18-3/4 inch 15,000 psi 6-ram preventer. (3 x Triple)
BOP Annulars	1 x Shaffer 18-3/4 inch 10,000 psi annular preventer. 1 x Shaffer 18-3/4 inch 15,000 psi annular preventer.
BOP Handling	BOP crane x 2 rated at 220 st main hoists and 1 x 38 st service hoists; BOP Trolley rated at 463 st with 4 x storage stands.
Marine Riser Tensioners	Shaffer 21 inch OD FT-H and 90 ft. long per joint. 8 x NOV Dual wireline riser tensioners, rated at 200 kips each; and a 12.5 ft maximum stroke..
Diverter	Shaffer 21-500 diverter rated at 500 psi and an opening of 60-1/4 inches, with 1 x 18 inch low line.
Tree Handling	1 x 440 st Xmas tree trolley.
Moonpool	84 ft. length x 41 ft. width

Station Keeping / Propulsion System

Thrusters	6 x (3 at forward, 3 at aft) Wartsila FS3502-671 NU 4,500 kW, with variable speed AC direct drive, azimuthing, and fixed pitch blades.
DP System	Kongsberg Simrad System DP-3, Dual redundant DGPS or equivalent and dual HiPAP hydro acoustic position reference.

Cranes

Cranes	4 x National Oilwell Varco 3932 cranes, with an additional 1 x 11 st pipe gripper.
---------------	--

Other Information

Helideck	Rated for Chinook BV234 helicopters
-----------------	-------------------------------------

Revision Date: 29 August 2014

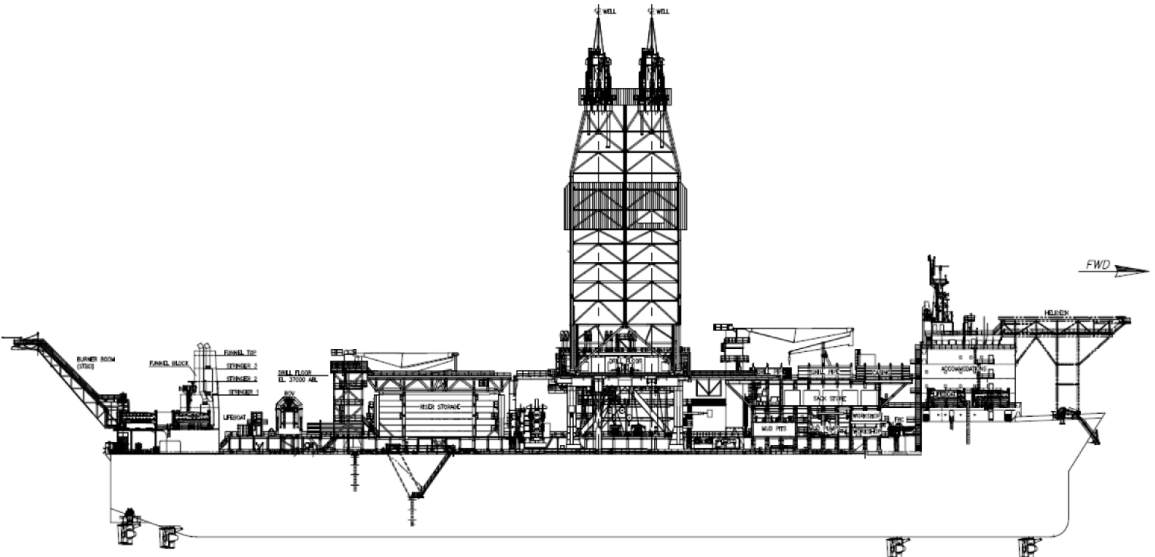
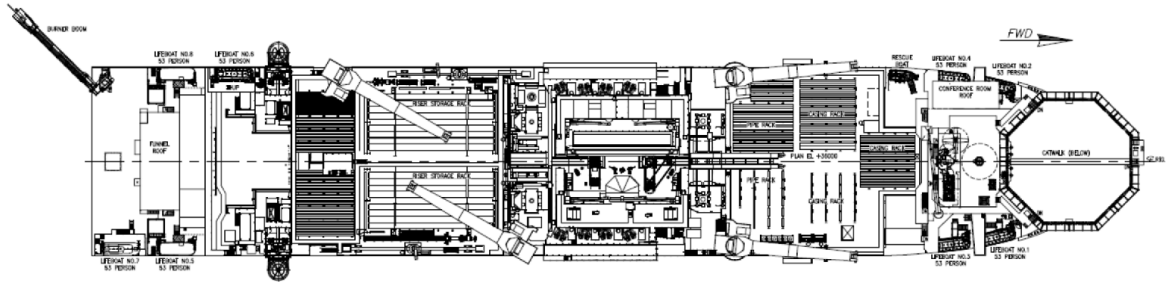


These specifications are intended for general reference purposes only, as actual equipment and specifications may vary based upon subsequent changes, the contract situation and customer needs. All equipment shall be operated and maintained at all times, in compliance with Transocean standard operating manuals, policies and procedures, and within its stated operational limits or continuous rated capacity, in order to assure maximum operational efficiency.

Patent Notice: This rig, its systems, components, and/or equipment in use on this rig, may be protected by one or more US and/or foreign patents.

PETROBRAS 10000

ULTRA-DEEPWATER DUAL-ACTIVITY DRILLSHIP



BOUNDLESS

Revision Date: 29 August 2014



**SERVICE FOCUSED
DATA DRIVEN
PERFORMANCE ORIENTED**

These specifications are intended for general reference purposes only, as actual equipment and specifications may vary based upon subsequent changes, the contract situation and customer needs. All equipment shall be operated and maintained at all times, in compliance with Transocean standard operating manuals, policies and procedures, and within its stated operational limits or continuous rated capacity, in order to assure maximum operational efficiency.

Patent Notice: This rig, its systems, components, and/or equipment in use on this rig, may be protected by one or more US and/or foreign patents.