



## **CONVERSÃO DE UM NAVIO PETROLEIRO EM UM NAVIO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE FORMAÇÃO**

Raphael Taucei Panizzi

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

Orientadora: Marta Cecilia Tapia Reyes

Rio de Janeiro

Agosto de 2013

# CONVERSÃO DE UM NAVIO PETROLEIRO EM UM NAVIO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE FORMAÇÃO

Raphael Taucei Panizzi

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

Examinado por:

---

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. D.Sc Marta Cecilia Tapia Reyes

---

Prof. D.Sc Severino Fonseca da Silva Neto

---

Prof. D.Sc Alexandre Teixeira de Pinho Alho

---

Prof. D.Sc Isaias Quaresma Masetti

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO de 2013

Taucei Panizzi, Raphael

Conversão de um Navio Petroleiro em um Navio de Tratamento de Água de Formação/ Raphael Taucei Panizzi – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

XI, 79p. 29,7 cm il.;

Orientadora: Marta Cecília Tápia Reyes.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Naval e Oceânica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 77-79.

1.Água Produzida. 2.Água Oleosa. 3.Novas Tecnologias. 4.Conversão. 5.Contaminação. 6.Tratamento.

I. Tápia Reyes, Marta Cecília. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Naval e Oceânica. III. Título

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus que tornou tudo isso possível e que me ajudou a superar todos os obstáculos da minha vida.

Aos meus pais, Edevino Panizzi e Elizabeth Taucei, por toda educação, carinho e amor que me propuseram desde o dia que nasci. Sempre pude contar com sua ajuda e atenção.

Ao meu irmão Thiago Panizzi, que sempre esteve ao meu lado e nunca deixou de me dar apoio em minhas decisões. Uma pessoa completa e atenciosa a quem admiro muito.

Agradeço também à minha namorada Maria Eduarda por toda atenção e paciência nesses últimos meses, sem a qual não teria conseguido superar diversos problemas.

Aos meus amigos de infância, José Hugo, Bruno, Carolina, Thor, João e Almeida, com quem posso contar durante qualquer situação.

Aos meus amigos de faculdade Alexandre, Alexander, Marcos, Felipe, Renato, André, Aline e Gelder que estiveram comigo desde o início do curso me apoiando e ajudando.

Ao colega e Engenheiro Naval Ivan que deu todo o suporte que precisei.

À minha orientadora Marta Tapia por toda a orientação e dedicação durante a elaboração do projeto. E que nos últimos anos se demonstrou uma amiga atenciosa.

Aos professores e amigos Severino e Murilo que sempre me ajudaram e me apoiaram durante a graduação e, principalmente, durante as matérias adiantadas do Mestrado.

Ao professor Peter Kaleff por toda a atenção e paciência durante as explicações e ideias dadas.

À equipe da Transpetro por todo o apoio e sugestões ao longo do projeto.

Finalmente, agradeço à ANP pelo investimento feito nos meus estudos e pela credibilidade que deram ao meu trabalho e potencial.

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

## **CONVERSÃO DE UM NAVIO PETROLEIRO EM UM NAVIO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE FORMAÇÃO**

Raphael Taucei Panizzi

Agosto/2013

Orientadora: Marta Cecilia Tapia Reyes

A água produzida, ou água oleosa, é a mistura de água com o petróleo e seus derivados que é obtida ao se extrair o mesmo do poço. Com o aumento da exploração em escala global, os poços estão ficando cada vez mais maduros e o volume de água misturada ao óleo tende a ficar cada vez maior. Como essa água vem acompanhada de vários contaminantes do petróleo, seu descarte apresenta diversos impactos sobre o meio ambiente, de maneira que se tornou uma questão de importância e preocupação ambiental. Além disso, a opção por fazer um tratamento em alto mar com uma embarcação adaptada para essa tarefa é uma importante medida para se aliviar as plantas de tratamento terrestre.

Palavras – Chave: Água Produzida, Água Oleosa, Novas Tecnologias, Conversão, Contaminação, Tratamento.

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

## **CONVERTING A TANKER SHIP INTO A PRODUCED WATER TREATMENT SHIP**

Raphael Taucei Panizzi

August/2013

Advisor: Marta Cecilia Tapia Reyes

The produced water or oily water is the mixture of water with petroleum and its derivatives which is obtained by extracting the same from the oil well. With the increased exploration on a global scale, the oil wells are becoming more mature and the volume of water mixed with the oil tends to get bigger and bigger. As this water comes with various contaminants from oil, its discard has several impacts on the environment, so that it became a matter of importance and environmental concern. Moreover, the option to make an offshore treatment with a vessel adapted for this task is an important measure to alleviate the treatment plants onshore.

*KeyWords:* Produced Water, Oily Water, New Technologies, Conversion, Contamination, Treatment.

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	LEGISLAÇÃO .....	4
2.1	CONAMA 393 .....	4
2.2	CONAMA 430 .....	5
3	ÁGUA PRODUZIDA E SEUS TRATAMENTOS .....	7
3.1	Vaso Desgaseificador (Separador Bifásico).....	9
3.2	Separadores Trifásicos .....	10
3.3	Hidrociclones .....	11
3.4	Tratamento Eletrostático .....	11
3.5	Flotadores.....	12
3.6	Filtração por Membrana.....	12
3.7	Processo de Oxidação Avançado.....	13
3.8	Biorreatores com Membrana .....	13
3.9	Evaporadores Térmicos .....	14
4	PLANTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA OLEOSA INSTALADA EM UM NAVIO ...	16
4.1	A Embarcação a Ser Convertida.....	17
4.2	A Planta de tratamento a ser utilizada.....	18
5	CONVERSÃO DA EMBARCAÇÃO.....	21
5.1	Ancoragem da embarcação .....	21
5.2	Proposta de um Novo Arranjo Geral .....	22
5.3	Armazenamento da Carga.....	24
5.3.1	Cálculo do Tanque de Concreto.....	26
5.4	Validação da Proposta - Estrutura .....	33
5.5	Validação da Proposta - Estabilidade .....	45
6	TRATAMENTO DE ÁGUA E SUA OPERAÇÃO.....	49
6.1	Operação de Carregamento .....	49
6.1.1	Manifolds .....	51
6.2	Proposta para o Arranjo do Sistema de Tratamento .....	56
6.2.1	Dimensionamento das Bombas.....	61
6.2.2	Validação Estrutural da Região da Planta de Tratamento .....	66
6.2.3	Validação da Estabilidade considerando a planta de tratamento .....	67
7	PROPOSTA ALTERNATIVA DE CONVERSÃO.....	70

7.1	Navio Enquadrado no CONAMA 393 .....	70
7.2	Navio Peregrino Ecológico .....	73
8	CONCLUSÃO .....	75
9	AÇÕES FUTURAS .....	76
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77



## Lista de Figuras

Figura 1 - Logística de Tratamento da Água Oleosa .....	2
Figura 2 – Terminais da TRANSPETRO.....	3
Figura 3 – Valores Máximos Aceitáveis Para o Lançamento de Efluentes .....	5
Figura 4 – Esquematização da Água em Contato com o Óleo no Poço .....	7
Figura 5 – Danos Causado Pela Água Oleosa .....	8
Figura 6 – Vaso Desgaseificador .....	10
Figura 7 – Separadores Trifásicos.....	10
Figura 8 - Hidrociclones.....	11
Figura 9 - Membrana .....	13
Figura 10 – Biorreator com Membrana.....	14
Figura 11 – Evaporador Termico.....	15
Figura 12 - Características do Candiota.....	17
Figura 13 - Navio Candiota .....	17
Figura 14 - Seção Mestre Original do Navio Candiota .....	18
Figura 15 - Arranjo Original do Navio Candiota.....	18
Figura 16 - Esquema da Planta de Tratamento .....	19
Figura 17 – Composição da Água Oleosa .....	20
Figura 18 - Spread Mooring .....	22
Figura 19 - Arranjo Interno dos Tanques .....	23
Figura 20 - Seção Mestre Original.....	23
Figura 21 - Arranjo dos Tanques Original .....	24
Figura 22 - Seção Mestre Modificada.....	24
Figura 23– Guindaste Externo Posicionando os Tanques de concreto .....	25
Figura 24 - Tanques de Concreto Posicionados.....	26
Figura 25 - Região de Tanque Analisada .....	27
Figura 26 - Condições de Contorno .....	28
Figura 27 - Carregamento do Tanque de Concreto.....	29
Figura 28 - Resultado do Modelo de Concreto.....	29
Figura 29 - Resultado da Otimização.....	30
Figura 30 - Condição de Carregamento por guindaste.....	31
Figura 31 - resultado da Condição de Carregamento com guindaste.....	31
Figura 32 - Preço do Concreto Armado .....	32
Figura 33 - Região de Tanque a ser Modelada .....	33
Figura 34 - Contorno dos Elementos Estruturais.....	34
Figura 35 - Uma Seção do Tanque Modelada .....	34
Figura 36 - Tanque Modelado com Todas as Seções.....	35
Figura 37 - Tanque Fechado.....	35
Figura 38 - Peso dos Tanques (Concreto + Água Oleosa) Colocados Sobre as Longarinas e Hastilhas.....	37
Figura 39 - Posicionamento das Molas do Modelo.....	39
Figura 40 - Condições de Contorno para o Momento Fletor de Acordo com a Regra da DNV ..	39
Figura 41 - Posicionamento das Condições de Contorno (Engaste) .....	40

Figura 42 - Posicionamento das Condições de Contorno (Elemento Rígido) .....	41
Figura 43 - Resultados Obtidos no Modelo Completo.....	41
Figura 44 - Tensão Obtida nas Longarinas.....	42
Figura 45 - Tensão Obtida no Fundo .....	42
Figura 46 - Tensão Obtida nas Hastilhas.....	43
Figura 47 - Tensão Obtida nas Anteparas Longitudinais .....	43
Figura 48 - Tensão Obtida nas Anteparas Transversais .....	44
Figura 49 - Tensão Obtida no Convés.....	44
Figura 50 - Tabela de Volume, Densidade e Carga .....	45
Figura 51 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia.....	46
Figura 52 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia .....	46
Figura 53 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Vazia.....	47
Figura 54 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Vazia .....	47
Figura 55 - Modelação da Embarcação e Tanques para a Estabilidade .....	47
Figura 56 – Manifold Posicionado na Embarcação .....	50
Figura 57 - Embarcação Próxima ao Candiota para Enviar a Água Oleosa .....	51
Figura 58 - Esquema do Manifold .....	51
Figura 59 - Aplicação do Peso do Manifold no Convés do Modelo .....	52
Figura 60 - Resultados Obtidos no Modelo Completo.....	53
Figura 61 - Tensão Obtida no Fundo .....	53
Figura 62 - Tensão Obtida no Convés.....	54
Figura 63 - Tensão Obtida nas Anteparas Longitudinais .....	54
Figura 64 - Tensão Obtida nas Anteparas Transversais .....	55
Figura 65 – Tensão obtida das hastilhas.....	55
Figura 66 - tensão obtida na Longarina Central .....	56
Figura 67 - Manifold Conectado aos Tanques Receptores.....	57
Figura 68 - Arranjo da Tubulação de Transferência Entre os Tanques de Armazenamento e Flotação.....	57
Figura 69 - Posicionamento do Tanque de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	58
Figura 70 - Arranjo do Tanque de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e Tubulações Próximas .....	58
Figura 71 - Arranjo do Tanque de Acidificação e Tubulações Próximas .....	59
Figura 72 - Arranjo do Tanque de Oxidação com Fenol e Tubulações Próximas .....	59
Figura 73 - Arranjo do Tanque de Neutralização e Tubulações Próximas .....	60
Figura 74 - Arranjo do Sistema de Tratamento .....	61
Figura 75 - Gráfico de Rugosidade Relativa .....	62
Figura 76 - Ábaco de Moody.....	64
Figura 77 - Características da Bomba .....	65
Figura 78 - Tensão Obtida no Modelo Devido ao Peso dos Produtos .....	66
Figura 79 - Tensão Obtida nas hastilhas Devido ao Peso dos Produtos.....	67
Figura 80 - Modelação dos Tanques de Produtos .....	67
Figura 81 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia.....	68
Figura 82 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia .....	68
Figura 83 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia.....	68
Figura 84 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia .....	69
Figura 85 - Arranjo interno do candiota.....	70

Figura 86 - Modelação do Arranjo interno.....	71
Figura 87 - Tanques de Concreto Posicionados no Arranjo Original do Candiota.....	71
Figura 88 - Equipamento de Tratamento sobre o convés .....	72
Figura 89 - Arranjo do Sistema de Tratamento para a Nova Concepção .....	73
Figura 90 - Trajeto Percorrido pela Embarcação na Costa.....	74

# 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de petróleo e seus derivados na sociedade em que vivemos é evidente. A partir do mesmo e de seus derivados, sacos plásticos, chicletes, combustíveis, lubrificantes, batons, aspirinas e até mesmo meias calças podem ser produzidos. É um recurso muito utilizado por todas as pessoas e, atualmente, é impossível viver sem ele.

Porém, o petróleo também é uma fonte poluidora em suas diversas instancias. Seja pela queima de combustíveis que poluem o ar e aumentam o efeito estufa, seja pelos sacos plásticos que levam séculos para serem decompostos, seja pelo óleo que cai na água e atinge todo o ecossistema e a vida marinha.

Nesse intuito, maiores são as preocupações devido à utilização desse produto que, apesar de necessário, pode trazer grandes riscos para o ambiente em que vivemos.

A geração de água oleosa que resulta do processo de extração do petróleo, doravante chamada água produzida, entra nesse contexto na medida em que é uma grande fonte poluidora relacionada ao petróleo. Existindo leis nacionais e internacionais para seu controle a fim de se evitar que seja lançada *in natura* (sem nenhum tratamento).

O problema relacionado à água de formação começa nas plataformas uma vez que, ao se explorar os reservatórios, além de óleo e gás, muita água é produzida. Assim, quanto mais maduro for o campo, mais água ele produzirá e, devido à isso, muitas plataformas apresentam sistemas primários de separação. Este processo enquadra a água dentro da regulamentação ambiental existente no Brasil (CONAMA 393). E descartada no mar.

Dependendo do caso, o óleo enviado da plataforma para os terminais contem bastante quantidade de água de formação. Nesses terminais é armazenado em tanques e depois de um período de decantação esta água é retirada para outros tanques de armazenamento, enquanto o óleo é enviado para a refinaria e deve sair do terminal com um nível em torno de 1% de *Bottom and Sediment Water* (BSW), de acordo com a referência [19]. O BSW é a unidade utilizada para medir o teor residual das impurezas indesejadas na água devido ao contato que teve com o petróleo.

A água de formação separada deve ser tratada novamente, mas neste caso a diferença do tratamento na plataforma é que ela deve ser enquadrada para cumprir um regulamento ambiental mais severo o CONAMA 430, onde é exigido que além da separação do óleo, deve ser realizada a retirada de vários componentes químicos como é mostrado no capítulo 2.

A seguir podemos ver um quadro esquemático do processo descrito anteriormente, retirado da referência [19].



Figura 1 - Logística de Tratamento da Água Oleosa

No Brasil, toda refinaria tem sua planta de tratamento de efluentes, no caso dos terminais de armazenamento a situação é diferente. Atualmente, está sendo implementada uma planta de tratamento no Terminal localizado em Angra dos Reis (RJ). Porém, a única planta de tratamento em funcionamento é a do terminal da TRANSPETRO em São Sebastião (SP).

Este fato implica na utilização de tanques de armazenamento de óleo para armazenar água de formação nos terminais sem estação de tratamento e seu posterior transporte ao Terminal de São Sebastião.

Em vista deste panorama: poços maduros com muita produção de água, produção de óleo longe da costa e quantidade de estações de tratamento insuficientes para servir todos os terminais da TRANSPETRO (fig. 2 imagem foi retirada de [20] e adaptada). Este trabalho se propõe a estudar o caso do tratamento da água de formação e propor uma solução via a conversão de um navio petroleiro de casco singelo (portanto impossibilitado de operar a partir de Dezembro de 2011) em um navio com uma estação de tratamento de água de formação.

Serão estudadas as possibilidades de tratamento e a viabilidade de conversão do ponto de vista estrutural e de estabilidade. Também serão analisadas novas possibilidades de operação para o tratamento nos terminais de armazenamento.

Abaixo, podemos observar os terminais existentes, a imagem foi retirada de [20].

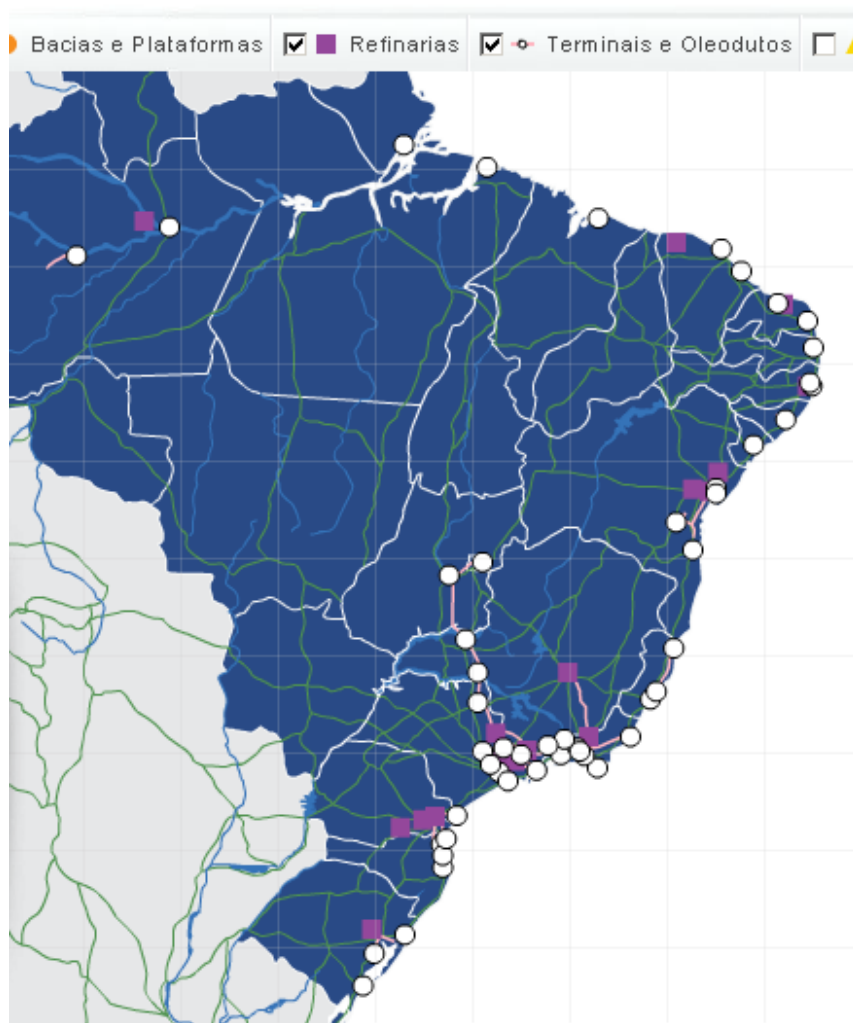


Figura 2 – Terminais da TRANSPETRO

## **2 LEGISLAÇÃO**

O organismo que define as normas de controle ambiental no Brasil é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), criado em 1982. Conforme definição do Ministério do Meio Ambiente, “É o órgão brasileiro que estabelece normas e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente”.

Existem duas regulamentações que tratam a questão da água oleosa: o CONAMA 430, para regiões em que a mesma é liberada próxima da costa ou em corpos receptores terrestres (corpo hídrico superficial que recebe o lançamento de um efluente) e o CONAMA 393, quando a liberação ocorre na região offshore.

### **2.1 CONAMA 393**

O CONAMA 393 assume que “a vida marinha é de importância vital para a humanidade, sendo de interesse comum garantir a qualidade e quantidade de seus recursos”. Nele também é observado que cerca de 80% do petróleo nacional são produzidos em plataformas marítimas alocadas pela costa brasileira.

De acordo com ele, “A região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial do efluente está limitada a um raio de 500 metros do ponto de descarte”. Além disso, O descarte de água produzida deverá obedecer à concentração média de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L.

Por outro lado, existe uma tendência de redução desses valores, assim como indica a resolução: “A indústria petrolífera deverá apresentar ao Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, no prazo de um ano, proposta de metas de redução do teor de óleos e graxas no descarte de água produzida”. Além disso, também pode ser observado que é proibido o descarte a um distancia menor que 10 quilômetros de unidades de conservação e menor que cinco quilômetros de áreas ecologicamente sensíveis.

Já o CONAMA 430, é uma resolução mais rigorosa por se tratar de uma região ecologicamente mais sensível, onde a deposição da água oleosa causa mais impacto ao meio ambiente, como veremos a seguir.

## 2.2 CONAMA 430

Esse CONAMA estabelece que o efluente gerado a ser lançado no ambiente deve apresentar um PH entre 5 a 9 além de temperatura inferior a 40°C.

O Limite máximo é de 20mg/L de óleos e graxas e de óleos vegetais e gorduras animais de até 50mg/L. Também deve ser feita uma remoção mínima de 60% de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

A tabela a seguir, obtida na referencia [1], mostra o padrão de lançamento dos efluentes e deverá ser respeitada.

TABELA I	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1.1 + 1.2cis + 1.2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

**Figura 3 – Valores Máximos Aceitáveis Para o Lançamento de Efluentes**

Nesse padrão de emissão podemos observar a preocupação quanto a emissões de metais pesados, bem como de diversos outros componentes extremamente tóxicos para as diversas formas de vida, como é o caso do Cianeto.

Dessa maneira, diversas são as tecnologias e equipamentos utilizados para deixar a água cada vez mais limpa e poder ser lançada a níveis ecológicos ou reutilizada.



Além disso, podemos concluir a partir dos dois regulamentos que existe uma crescente preocupação por parte dos órgãos competentes em manter a qualidade das águas. Enquanto o CONAMA 393 é mais genérico, restringindo-se basicamente à quantidade máxima de óleo por litro que deve ser emitida, o CONAMA 430 estabelece padrões específicos de lançamento a partir de valores máximos permitidos de cada um dos parâmetros inorgânicos presentes na água oleosa.

Nesse intuito, será buscado ao longo do projeto o desenvolvimento de sistemas capazes de suprir ao CONAMA 430, já que atendendo ao CONAMA 430, atendemos simultaneamente ao CONAMA 393.

A seguir veremos como essa água é formada e quais são os principais equipamentos utilizados para sua purificação.

### 3 ÁGUA PRODUZIDA E SEUS TRATAMENTOS

A formação do petróleo tem origem na deposição e acúmulo de matéria orgânica em locais propícios ao seu armazenamento. Esses locais são depressões na superfície da terra chamadas de bacias sedimentares. Dessa maneira, essas bacias iam sendo preenchidas com a matéria orgânica que acabava sendo coberta por sedimentos e se transformaram, ao longo de milhões de anos, em rochas sedimentares. Devido à ação de elevadas temperaturas e pressões, resultantes do empilhamento dos sedimentos, foi possível estimular reações químicas que formaram o petróleo.

Em razão dessas circunstâncias observa-se a necessidade da presença de rochas – reservatório que possuem espaços “vazios” e que possibilitam o armazenamento do petróleo, protegido do meio circundante onde o mesmo pode se acumular e formar a jazida de petróleo.

A extração do petróleo das rochas – reservatório pode fazer com que a água do mar ou de algum lençol freático próximo seja trazida à superfície juntamente com o petróleo. À medida que o poço vai sendo explorado e torna-se mais maduro, maiores são as quantidades de água que invadem o reservatório. Além disso, as técnicas de reinjeção de água para manter a pressão do poço também contribuem para o aumento de água nos poços e acabam sendo misturadas ao óleo extraído.

A seguir é mostrada a figura obtida na referência [2], representativa de como geralmente a água se encontra próxima ao óleo no interior do poço.

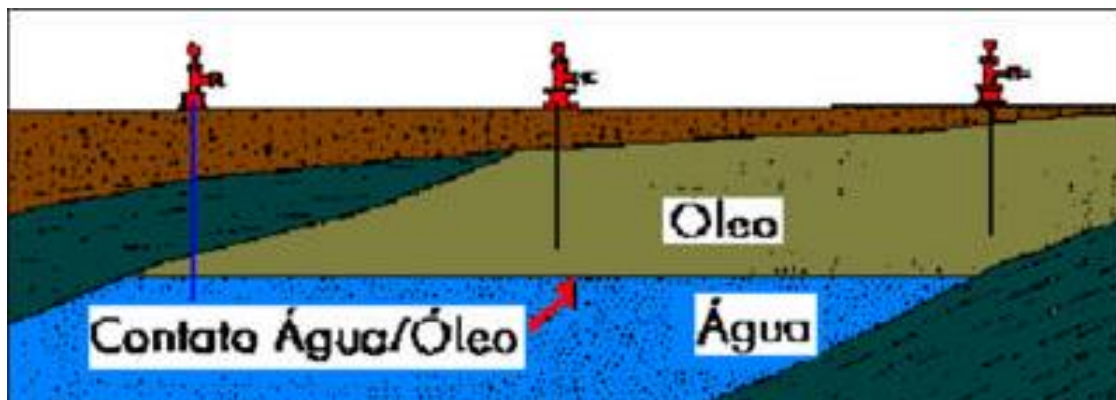


Figura 4 – Esquematização da Água em Contato com o Óleo no Poço

Além disso, da mesma forma que quando o petróleo é lançado no meio ambiente, a água oleosa, sem os devidos tratamentos, pode trazer diversos danos quando ocorre algum vazamento ou lançamento irresponsável. Como é o caso da Petrobras, quando 26 m<sup>3</sup> de água oleosa foram coletados do vazamento de uma coluna de petróleo offshore que se rompeu. A seguir é mostrada a figura do impacto provocado por esse derramamento. Essa figura foi obtida na referência [21].



**Figura 5 – Danos Causado Pela Água Oleosa**

A separação da água oleosa consiste em separar a mistura de água e óleo que é obtida ao extrair o petróleo do poço, a fim de se reduzir o teor de óleos e graxas da água.

Dessa forma, pode-se obter um produto de extração com maior qualidade e também o descarte ecológico de água no mar ou sua reinjeção no poço.

O óleo pode se encontrar livre, disperso, emulsificado ou dissolvido na água e o processo de separação mais comum é o processo gravitacional, que pode ser utilizado quando o óleo se encontra na forma livre ou dispersa, uma vez que o diâmetro das gotas de óleo são maiores. Já para o óleo emulsificado, que apresenta gotas com diâmetros menores, é necessário utilizar uma tecnologia mais complexa.

A fração de óleo dissolvida na água diz respeito a derivados do petróleo que apresentam peso molecular bem mais baixo, como BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e NFD (naftalenos, fenantrenos, e dibenzotiofenos). Por apresentarem baixo peso molecular se encontram muito mais dissolvidos na água, sendo sua separação extremamente difícil e envolvendo processos muito mais complicados, como dito anteriormente.

O HPA (Compostos Policíclicos Aromáticos), por apresentar maior peso molecular que o BTEX e NFD são menos solúveis e podem ser reduzidos da mistura com óleo até certo limite.

Atualmente, os métodos mais empregados estão relacionados à separação por gravidade, podendo haver associação com algum outro método como, por exemplo, o de flotação a fim de se obter melhores resultados.

Os separadores gravitacionais podem ser trifásicos ou bifásicos. A vantagem do trifásico é que já ocorre uma separação preliminar dos três componentes que saem do poço: óleo, gás e água.

A água que sai desse primeiro estágio está com muitas partículas de óleo e é encaminhada para outros equipamentos, como, por exemplo, os hidrociclones e outros flotadores que farão uma separação mais refinada dessa água oleosa.

Além disso, esse óleo também pode ser encaminhado para tanques desgaseificadores e, posteriormente, a um tratamento eletrostático a fim de se retirar o gás e a água que permaneceram no mesmo.

Dessa maneira, os principais equipamentos foram listados a seguir.

### **3.1 Vaso Desgaseificador (Separador Bifásico)**

Este equipamento é composto por um recipiente que tem a função de remoção do gás ainda presente no líquido, através da expansão do mesmo durante seu armazenamento no recipiente. Assim, o gás é retirado para armazenamento ou queima através da abertura de uma válvula posicionada sobre o recipiente. A seguir, são mostradas imagens representativas do vaso desgaseificador, em que a imagem à direita foi obtida na referência [22].

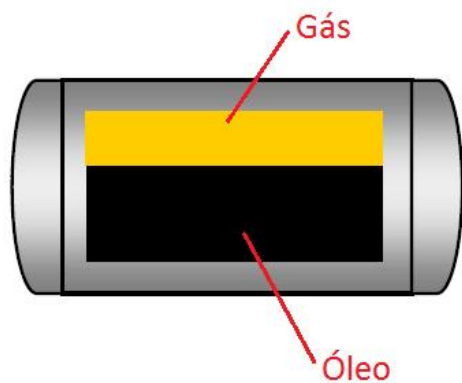


Figura 6 – Vaso Desgaseificador

### 3.2 Separadores Trifásicos

Estes separadores são equipamentos utilizados para separar os hidrocarbonetos de diferentes fases através do princípio de diferença de densidades, geralmente utilizados quando há uma acentuada diferença nas densidades de cada fase. A seguir, são mostradas imagens representativas dos separadores trifásicos, em que a imagem à direita foi obtida na referência [23].



Figura 7 – Separadores Trifásicos

### 3.3 Hidrociclones

São equipamentos de separação desenvolvidos para separar o óleo da água, sendo aplicados, geralmente, em fase posterior aos separadores trifásicos e eletrostáticos. Ele consiste em uma parte cônica ligada a uma parte cilíndrica em que na parte superior (cilíndrica) apresenta um tubo para saída da suspensão diluída e no final da parte cônica uma saída do material com maior concentração.

Dessa maneira, a água que entra sob pressão no trecho de maior diâmetro é direcionada em fluxo espiral na direção do trecho de menor diâmetro, resultando em uma força centrífuga que estimula os elementos de maior densidade contra as paredes do sistema.

A seguir, são mostradas imagens representativas dos hidrociclones, em que as imagens foram obtidas na referência [24].



Figura 8 - Hidrociclones

### 3.4 Tratamento Eletrostático

Os tratadores eletrostáticos funcionam com a aplicação de um campo eletromagnético que favorece o processo químico de união das gotas de água da emulsão. Dessa maneira, ao agrupar a água, fica mais fácil da mesma ser removida.

Além disso, esse processo pode ser aplicado quando existe um meio com líquido condutor (água) em um meio não condutor (óleo).

### **3.5 Flotadores**

O processo de flotação consiste em gerar bolhas de gás no interior do efluente para que o contato entre as bolhas de gás e óleo estimulem a adesão do óleo nas bolhas e ocorra a ascensão do óleo até a superfície para que o mesmo seja removido.

### **3.6 Filtração por Membrana**

A filtração por membrana é feita como um complemento, através de uma camada de material sintético fino e semipermeável por onde a água passa.

Essa membrana pode ser para microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa, sendo a escolha determinada pelas características da água a ser tratada, da qualidade dos efluentes e da natureza da aplicação.

A microfiltração e ultrafiltração são processos de baixa pressão com mesmo princípio de funcionamento. A pressão dirige a água oleosa contra a membrana e poluentes maiores do que um poro são retidos. O processo de microfiltração rejeita particulados incluindo bactérias e sólidos suspensos, enquanto que o processo de ultrafiltração rejeita todos esses materiais e também macromoléculas, incluindo óleos emulsificados.

Já os processos de osmose reversa e nanofiltração requerem uma pressão mais elevada sendo capazes de separar moléculas e íons.

Para o tratamento de água oleosa utilizando membranas, é usada uma combinação das mesmas ou então das mesmas com alguma outra tecnologia. A combinação dos processos de microfiltração e ultrafiltração consegue atingir níveis muito mais elevados de separação do que os métodos convencionais, enquanto que a combinação dos métodos de osmose reversa e nanofiltração é utilizada na remoção de sal para que a água possa ser reutilizada.

De forma geral, são sistemas muito compactos, sendo aplicáveis tanto para sistemas *onshore* quanto para sistemas *offshore*, totalmente automatizados, não necessitam de muitos tratamentos químicos, são confiáveis, fáceis em obter melhorias na capacidade e também apresentam custos baixos de energia. A desvantagem está relacionada aos custos de substituição e investimento. Além disso, necessitam de um intensivo pré-tratamento para que a membrana não incruste.

Porém, esse método se tornou a tecnologia promissora para o século 21. Com ele é possível atingir vazões superiores a 150m<sup>3</sup>/h.

A seguir, é mostrada a imagem representativa da membrana, em que a mesma foi obtida na referência [25].



**Figura 9 - Membrana**

### **3.7 Processo de Oxidação Avançado**

O objetivo desse tratamento é de gerar o radical OH\* que apresenta elevado poder de oxidação, reagindo rapidamente e de maneira não seletiva com todas as partículas orgânicas próximas. Dessa maneira, os poluentes orgânicos da água oleosa são mineralizados para posterior extração.

As vantagens da utilização dessa técnica incluem o tempo curto de degradação, muitas vezes não ocorre a geração de lodo e pode-se atingir a mineralização completa dos componentes orgânicos. Por outro lado, a desvantagem é a de que requer aditivos químicos que tornam o tratamento caro.

### **3.8 Biorreatores com Membrana**

Esse processo integra a utilização de filtração por membrana com processo biológico. A utilização da membrana é para filtrar a biomassa e outros sólidos suspensos que ficam na mistura após os microrganismos realizarem a oxidação dos poluentes orgânicos. Além de separar a biomassa a membrana também pode ajudar a remover óleos emulsificados e outros compostos orgânicos solúveis remanescentes que não foram degradados pelos microrganismos.



Apesar de ser um método majoritariamente utilizado no *downsetram* apresenta diversas vantagens, como maior qualidade do efluente que apresenta menor quantidade de biomassa, a membrana confere mais tempo para uma maior degradação por parte dos microrganismos e muito pouco lodo é produzido.

A imagem a seguir foi retirada da referência [3].

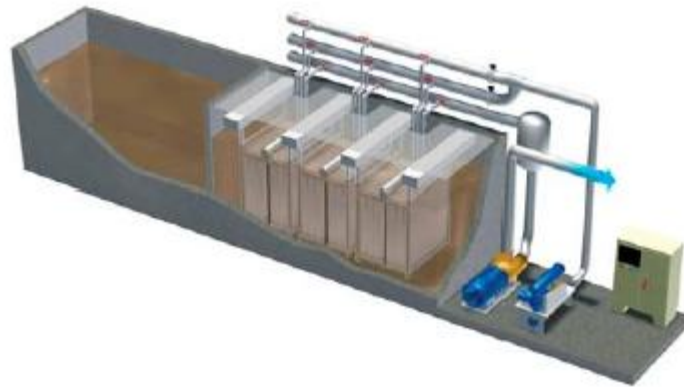


Figura 10 – Biorreator com Membrana

### 3.9 Evaporadores Térmicos

O processo por evaporadores térmicos consiste em fornecer calor à água oleosa de forma a evaporá-la, formando água destilada de elevada qualidade que pode ser reutilizada. Como vantagens, temos que é um processo mais simples já que vários processos químicos e físicos são eliminados, necessita de pouco pré-tratamento e volumes de descarte são reduzidos uma vez que os fluxos de resíduos podem ser reciclados pelo evaporador.

Atualmente os métodos de filtração por membrana e evaporadores térmicos são utilizados na indústria de petróleo em grande escala e são ideais em aplicações que precisam de solução imediata.

A imagem a seguir foi retirada da referência [3].

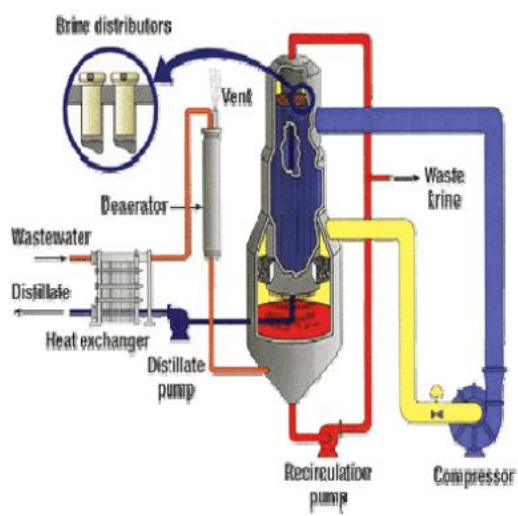


Figura 11 – Evaporador Termico

## **4 PLANTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA OLEOSA INSTALADA EM UM NAVIO**

Conforme visto na introdução, a proposta deste trabalho foi baseada em duas possibilidades. Na primeira delas a embarcação fica posicionada na região *offshore* e recebe a água oleosa, partindo-se do pressuposto que um processamento inicial é feito nas plataformas. Embarcações menores transportam essa água ao navio que fará o tratamento da mesma. Nele a água é então processada, podendo ser reutilizada para reinjeção ou liberada no oceano em níveis de limpeza adequados.

A segunda possibilidade seria posicionar o navio próximo a um dos terminais de armazenamento de forma a aliviar o terminal de São Sebastião.

Podemos notar que tomando a precaução de respeitar o CONAMA 430 atendemos à ambas possibilidades já que, nesse primeiro momento, não temos certeza da região de operação da embarcação. Sendo assim, caso seja optado pela utilização do mesmo em região de plataforma o sistema a ser utilizado poderia ser alterado de forma a ficar menos eficiente e mais barato. Porém, já aproveitando o espaço e organização de um sistema mais eficiente que será alocado.

Vemos que para essas possibilidades precisaremos de uma embarcação e de um sistema de tratamento. A embarcação escolhida como modelo para o projeto é o navio petroleiro de casco singelo, portanto fora das normas para petroleiros, o que significa uma possibilidade de aproveitamento destas embarcações sem muita intervenção estrutural como seria o caso de inserir o fundo e o costado duplo para operar como petroleiro. O modelo de embarcação utilizado será o navio Candiota, embarcação pertencente à TRANSPETRO e cedidos os dados para esta pesquisa.

Quanto ao sistema de tratamento optou-se por utilizar o sistema empregado no terminal de São Sebastião, portanto enquadrando a água com a norma mais rigorosa. Desta forma, a solução tanto pode ser utilizada offshore quanto no cais do terminal.

#### 4.1 A Embarcação a Ser Convertida

O navio escolhido que irá sofrer a conversão para poder tratar a água oleosa é um petroleiro. O nome do navio é “Candiota” e suas características principais podem ser vistas a seguir.

Características	
Comprimento total (m)	160,9
Comprimento entre perpendiculares (m)	155,0
Boca (m)	26,0
Pontal (m)	11,9
Calado de Projeto (m)	8,4
Borda Livre de Projeto (m)	5,9
Capacidade de Lastro limpo/segregado (m <sup>3</sup> )	14.649,6
Porte Bruto tpb	18.799
Carga	Fluidos Escuros
Peso L eve (ton)	6 936.00
L CG (m)	69.50
KG (m)	9.57

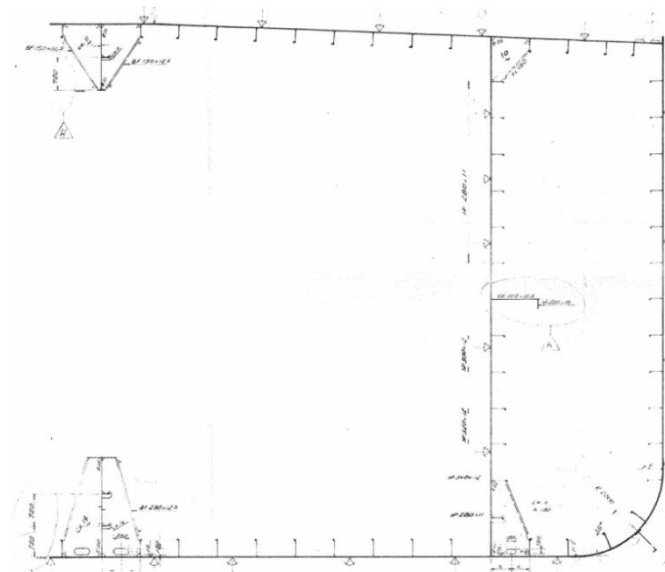
Figura 12 - Características do Candiota

A imagem a seguir foi obtida na referencia [26].



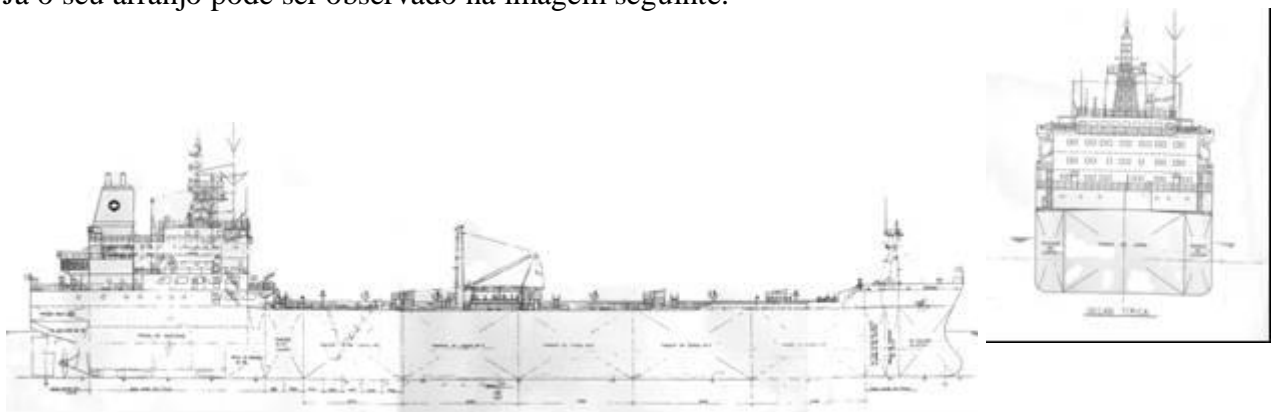
Figura 13 - Navio Candiota

A seção mestra do Navio Candiota pode ser vista a seguir:



**Figura 14 - Seção Mestra Original do Navio Candiota**

Já o seu arranjo pode ser observado na imagem seguinte.



**Figura 15 - Arranjo Original do Navio Candiota**

## **4.2 A Planta de tratamento a ser utilizada**

Os métodos indicados no item três estão mais relacionados com a separação entre a água e o óleo propriamente dita. Na planta de tratamento que será empregada, também são utilizados processos químicos para a eliminação de demais subprodutos remanescentes do óleo emulsificado na água.

Desta forma a planta de tratamento a ser implantada na embarcação será a utilizada no terminal de São Sebastião e pode ser vista a seguir e foi obtida na referência [4].

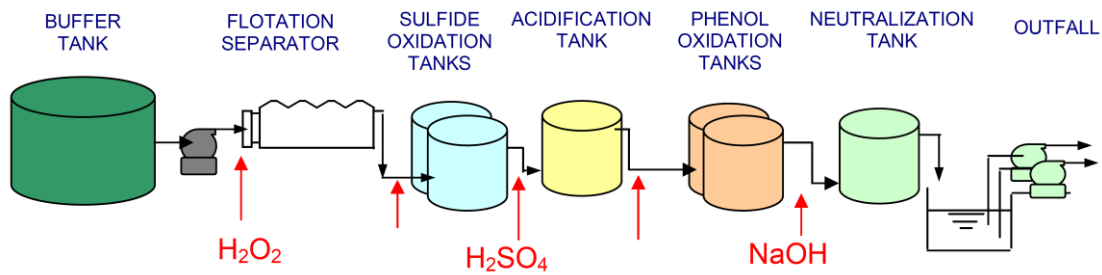


Figura 16 - Esquema da Planta de Tratamento

Nela a água oleosa é inicialmente armazenada nos tanques de recebimento. Em seguida uma bomba com vazão de 300 m<sup>3</sup>/h impulsiona a água produzida para os demais tanques. O primeiro tanque é o de flotação em que se utiliza o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para estimular o surgimento de bolhas que farão a ascensão do óleo. Em seguida, a água remanescente é encaminhada para o tanque de oxidação de sulfeto onde será introduzido o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Depois dessa etapa a água passa para o tanque de acidificação onde serão adicionados mais componentes ácidos na água produzida. Em seguida ocorre a utilização do oxidante Fenol através do processo Fenton, que tem por objetivo destruir os componentes orgânicos remanescentes. Finalmente ela passa pelo tanque de neutralização onde é injetado o NaOH para ser posteriormente liberada.

Como exemplo para a composição da água produzida, foram utilizados os dados da água que chega ao terminal de São Sebastião, conforme referência [4], e que pode ser visto na figura a seguir.

Parameter	Raw Produced Water	Required Quality After Treatment (based on Brazilian Legislation CONAMA357/05)
Alkalinity	1 500 mg.L <sup>-1</sup>	-
Ammonium nitrogen	80 mg.L <sup>-1</sup>	< 20 mg.L <sup>-1</sup>
Barium	70 mg.L <sup>-1</sup>	< 5 mg.L <sup>-1</sup>
BOD <sub>5</sub>	450 mg.L <sup>-1</sup>	< 60 mg.L <sup>-1</sup>
Boron	30 mg.L <sup>-1</sup>	< 5 mg.L <sup>-1</sup>
Cadmium	< 1 µg.L <sup>-1</sup>	< 0.2 mg.L <sup>-1</sup>
Calcium	2600 mg.L <sup>-1</sup>	-
Chromium	2.0 µg.L <sup>-1</sup>	< 0.5 mg.L <sup>-1</sup>
Copper	2.5 µg.L <sup>-1</sup>	< 1 mg.L <sup>-1</sup>
Tin	< 1 µg.L <sup>-1</sup>	< 4 mg.L <sup>-1</sup>
Phosphorus	<0.1 mg.L <sup>-1</sup>	-
Hardness	7000 mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	-
Iron	2 mg.L <sup>-1</sup>	< 15 mg.L <sup>-1</sup>
Lead	< 1 µg.L <sup>-1</sup>	< 0.5 mg.L <sup>-1</sup>
Magnesium	830 mg.L <sup>-1</sup>	-
Manganese	0.8 mg.L <sup>-1</sup>	< 1 mg.L <sup>-1</sup>
Mercury	< 1 µg.L <sup>-1</sup>	< 0.01 mg.L <sup>-1</sup>
Nickel	< 1 µg.L <sup>-1</sup>	< 2 mg.L <sup>-1</sup>
Nitrate	-	< 17 mg.L <sup>-1</sup>
Oil and Grease	100 mg.L <sup>-1</sup>	< 20 mg.L <sup>-1</sup>
pH	7 – 7.5	5 – 9
Phenols	2 mg.L <sup>-1</sup>	< 0.5 mg.L <sup>-1</sup>
Salinity	50 g NaCl.L <sup>-1</sup>	-
Silica	36 mg.L <sup>-1</sup>	-
Silver	60 µg.L <sup>-1</sup>	< 0.1 mg.L <sup>-1</sup>
Sodium	17000 mg.L <sup>-1</sup>	-
Sulfide	150 mg.L <sup>-1</sup>	< 1 mg.L <sup>-1</sup>
Sulfate	200 mg.L <sup>-1</sup>	-
Potassium	350 mg.L <sup>-1</sup>	-
Temperature	Summer: 30°C (max), 25°C (average) Winter: 18°C (average)	< 40°C
TOC	80 mg.L <sup>-1</sup>	-
Zinc	123 µg.L <sup>-1</sup>	< 5 mg.L <sup>-1</sup>

Figura 17 – Composição da Água Oleosa

A composição dessa água nos sugere uma densidade em torno de 1,081 ton/m<sup>3</sup> de água oleosa a ser tratada.

## **5 CONVERSÃO DA EMBARCAÇÃO**

Primeiramente, devemos observar que a embarcação não precisará de sistema propulsivo porque em princípio ela ficará ancorada processando a água. Dessa maneira, esse sistema será retirado e caso a embarcação precise ser deslocada o mesmo pode ser feito com rebocadores. Para isto serão vistas as possibilidades de sistema de ancoragem da embarcação e tratamento da água produzida.

Como forma de validação será verificado o comportamento estrutural e estabilidade do navio.

### **5.1 Ancoragem da embarcação**

O sistema de ancoragem escolhido para o posicionamento da embarcação foi o Spread Mooring (Ancoragem Distribuída). Esse sistema consiste em utilizar quatro grupos de linhas (dois na proa e dois na popa, colocados ao longo dos bordos da embarcação) para manter a mesma com um aproamento fixo. O ideal para essa condição de ancoragem é que a embarcação fique posicionada da melhor maneira possível, de acordo com as características de mar mais crítico da região, já que será um posicionamento fixo.

Nesse tipo de sistema os mangotes para a transferência da água oleosa ficam posicionados no costado da embarcação, ao longo do corpo paralelo e em ambos os bordos.

É uma modalidade de ancoragem que apresenta baixos custos já que quase nenhuma obra ou grande modificação precisa ser feita na embarcação. Além disso, sua instalação é mais rápida, menos complexa e mais barata que as demais opções (turret interno e turret externo).

A imagem a seguir representa o esquema do spread mooring e foi obtida na referência [27].





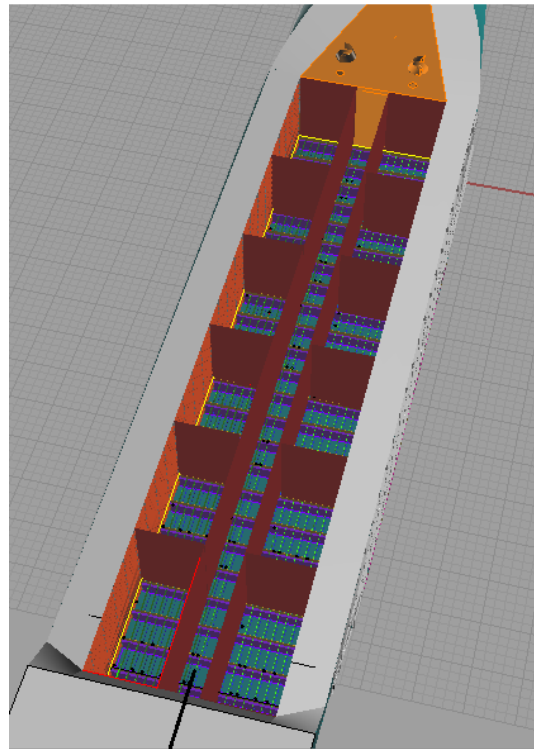
**Figura 18 - Spread Mooring**

## **5.2 Proposta de um Novo Arranjo Geral**

Nessa etapa foi pensada uma forma de se fazer um arranjo que acomodasse da maneira mais simples possível e segura o sistema de tratamento. Dessa forma, levou-se em conta que esse sistema deveria ficar interno, pois estaria protegido da ação do tempo, além de se evitar possíveis problemas de estabilidade devido ao peso que será acrescentado. Além disso, por ficar interno à embarcação possibilitaria a visita de pessoas para qualquer situação em qualquer momento e reduziria as chances de ocorrer algum desastre ambiental devido ao confinamento dos produtos químicos.

Dessa maneira, foi necessário fazer um corredor central interno com duas anteparas longitudinais para acomodar as tubulações, bombas, válvulas e tanques de produtos químicos correspondentes ao sistema de limpeza da água oleosa. Também foi feito um rearranjo dos tanques com o objetivo de se ter o número necessário dos mesmos para facilitar as operações de tratamento.

Conforme visto no item 4.2 serão necessários seis tanques. Porém, foram posicionados doze, seis em cada bordo, para evitar problemas de banda, além do corredor central conforme pode ser observado na imagem a seguir.

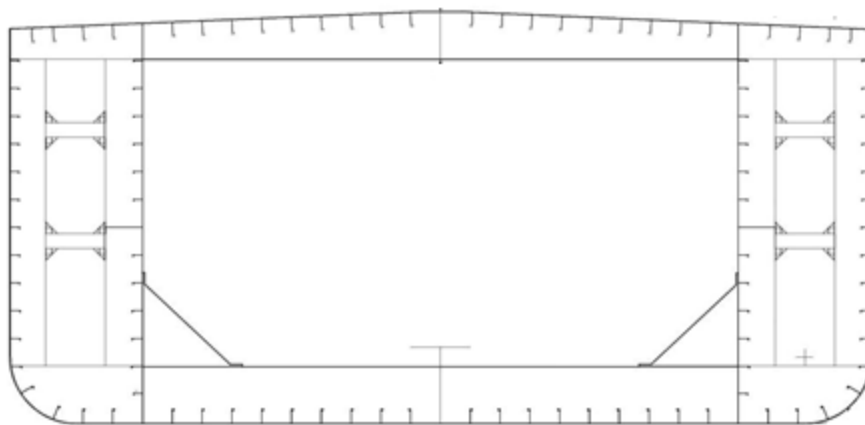


**Corredor Central**

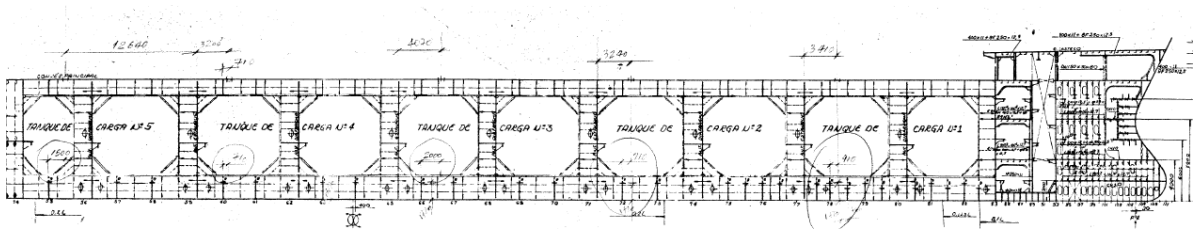
**Figura 19 - Arranjo Interno dos Tanques**

As novas anteparas transversais que delimitarão o tamanho dos tanques foram colocadas coincidindo com as cavernas gigantes, de maneira a facilitar a construção. Como não há fundo duplo elas foram posicionadas sobre as hastilhas.

As figuras a seguir mostram o arranjo estrutural original do navio, sendo importante observar que a mesma não possui fundo duplo.



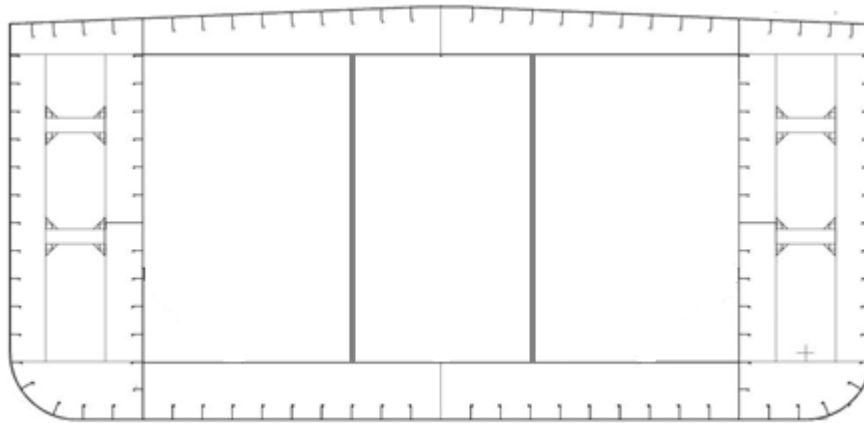
**Figura 20 - Seção Mestra Original**



**Figura 21 - Arranjo dos Tanques Original**

As borboletas foram retiradas já que ocupavam muito espaço e para que os tanques pudessem ser posicionados.

A longarina central foi reduzida e colocada na mesma altura das hastilhas uma vez que estava atrapalhando o posicionamento da tubulação e tanques no corredor central. O que resultou na seguinte seção mestra.



**Figura 22 - Seção Mestra Modificada**

### **5.3 Armazenamento da Carga**

Considerando que a carga é muito corrosiva e danosa à estrutura da embarcação, é necessário proteger a mesma.

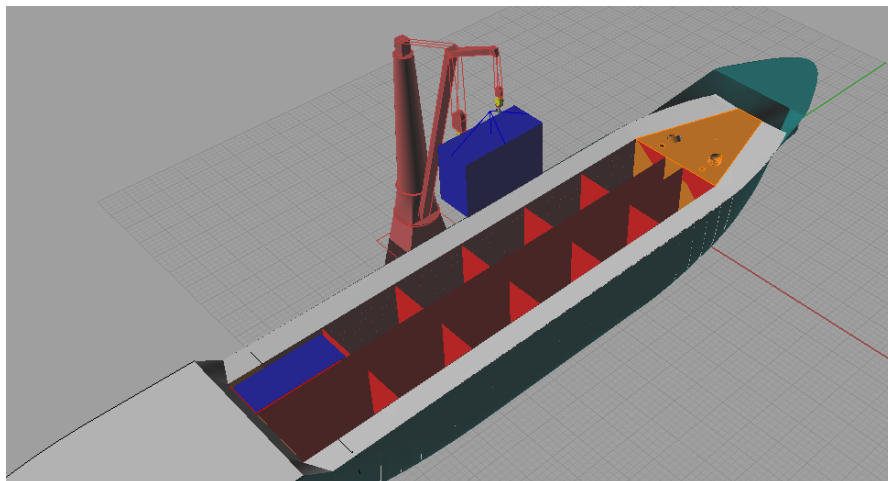
Dessa maneira, para o revestimento dos tanques foi levado em conta duas possibilidades, a utilização de tinta de revestimento ou a utilização de tanques internos de concreto armado.

A tinta que pode ser utilizada deve ser do tipo epóxi de maneira que não reaja com os componentes químicos do tratamento que são altamente corrosivos e não podem entrar em contato com o aço do navio. A tinta ideal para essa concepção, de acordo com a especificação da Petrobras, é a tinta de revestimento tipo III da norma N-2912. Essa tinta deve ser sem solventes, de cura a temperatura ambiente, pigmentada com flocos de vidro ou cargas cerâmicas.

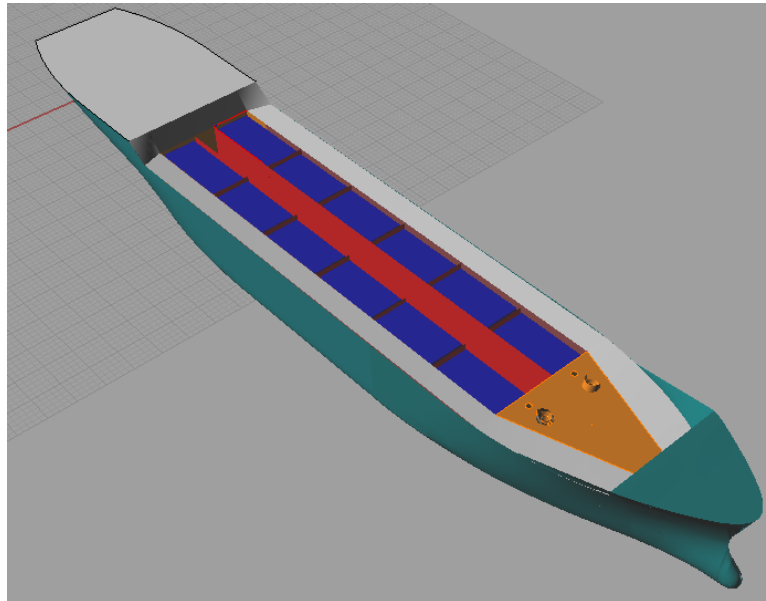
A vantagem dessa concepção é que se pode utilizar o volume total dos tanques. Porém, apresenta como desvantagem a necessidade de constantes retoques de tinta e em locais de difícil acesso.

Já para a utilização de tanques internos de concreto, os mesmos seriam posicionados bem no meio dos tanques de aço, de forma a respeitar os reforçadores estruturais internos da embarcação, e também encostando-se aos mesmos para evitar ao máximo que esses tanques se movam dentro dos tanques de aço, além de apresentarem suportes de fixação. Apesar de essa concepção reduzir o volume dos tanques (já que os de concreto não ocuparão o espaço inteiro dos tanques de aço) a redução é muito pequena. Além disso, podem ser facilmente colocados e retirados da embarcação com a utilização do guindaste, além de serem utilizados no processo de tratamento terrestre.

A seguir é mostrado o esquema de posicionamento dos tanques de concreto na embarcação, através de um guindaste externo.



**Figura 23– Guindaste Externo Posicionando os Tanques de concreto**



**Figura 24 - Tanques de Concreto Posicionados**

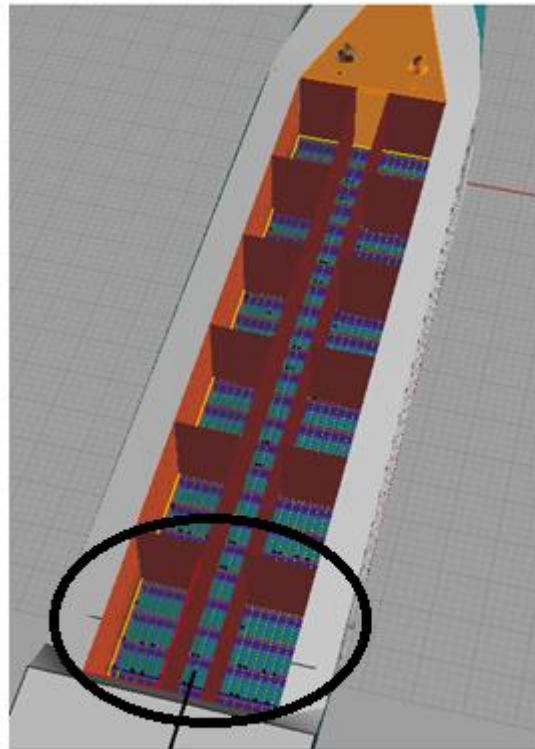
Dessa maneira foi necessário fazer o projeto preliminar dos tanques de concreto.

### **5.3.1 Cálculo do Tanque de Concreto**

Para o projeto do tanque de concreto será considerada como premissa básica que ele seja auto suportante. Foi realizado um modelo de elementos finitos para confirmar a sua viabilidade. Considerou-se o módulo de elasticidade do concreto como 30 Giga pascal, a tensão limite de escoamento como 20 Mega pascal e o coeficiente de Poisson 0,21.

A condição estudada foi a do tanque mais crítico. Ou seja, o maior tanque de concreto utilizado e que armazenará a água oleosa bruta (produto de maior peso na embarcação).

A região que será posicionada esse tanque diz respeito aos tanques em destaque na imagem a seguir e são os tanques que recebem a água oleosa.



Região Analisada

Figura 25 - Região de Tanque Analisada

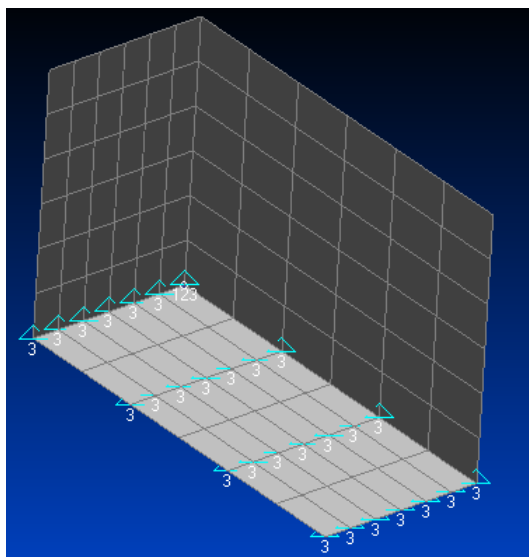
#### Unidades do Modelo

- Força = Newton [N]
- Comprimento = Metro [m]
- Tempo = [s]
- Aceleração da Gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$
- Material: Concreto
- Módulo de Young = 30000 Mpa
- Tensão de Escoamento = 20 Mpa
- Coeficiente de Poisson = 0,21
- Massa Específica =  $2500 \text{ kg/m}^3$

### Condição de Contorno e Geometria

A seguir vemos a modelação do tanque de cimento que apresenta 13 metros de comprimento, 5,35 metros de largura e 8,6 metros de altura. O tamanho dos tanques de concreto e seus volumes foram feitos de acordo com o espaço interno disponível, de maneira a termos o maior aproveitamento de espaço dentro dos tanques de aço respeitando as dimensões dos reforçadores.

As condições de contorno foram colocadas de maneira que coincidisse com o fundo encostado nas hastilhas. A condição imposta foi de limitar o movimento vertical (ao longo do eixo Z).



**Figura 26 - Condições de Contorno**

### Carregamento

Então foi colocado o peso do concreto junto do peso da água produzida. Para o peso da água produzida foi considerado o volume do tanque de concreto e a densidade da água oleosa ( $598,13 \text{ m}^3 \times 1,081 \text{ ton/m}^3$ ) dando um resultado de 647 toneladas. A isso foi acrescido o peso do tanque, estimando-se inicialmente a espessura de 35 cm.

A área total do tanque é de  $455 \text{ m}^2$  ( $5,35 \times 13 \times 2 + 5,35 \times 8,6 \times 2 + 8,6 \times 13 \times 2$ ). A isso é multiplicado a espessura para obtermos o volume de  $160 \text{ m}^3$  ( $455 \text{ m}^2 \times 0,35 \text{ m}$ ). Então o peso é dado pela multiplicação entre a densidade do concreto ( $2,5 \text{ ton/m}^3$ ) e o volume, dando um resultado de 400 toneladas.

Dessa maneira temos que o peso total a ser colocado na área do fundo (69,55 m<sup>2</sup>) é de 1047 toneladas (647 ton + 400 ton), dando um total de 148 mil Newton por m<sup>2</sup>. Já para as áreas lateral e frontal temos que colocar a pressão hidrostática do fluido, que nesse caso foi considerada linear como critério de segurança. Dessa maneira, para a área lateral temos 647 toneladas por 111,8 m<sup>2</sup> o que nos dá 57 mil Newton por m<sup>2</sup>. Já para a área frontal, temos 647 toneladas por 46 m<sup>2</sup>, o que nos dá 138 mil Newton por m<sup>2</sup>.

A seguir podemos ver a imagem da pressão sendo aplicada contra cada chapeamento.

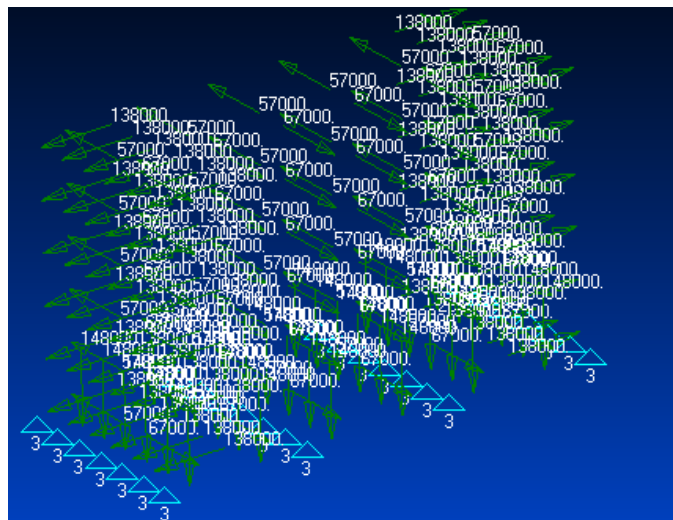


Figura 27 - Carregamento do Tanque de Concreto

## Resultados

O resultado obtido para a espessura de 35 centímetros pode ser visto a seguir. É importante observar que essa análise leva em consideração se a tensão máxima de *Von Mises* obtida no modelo é inferior à tensão de escoamento do concreto (20 Mpa).

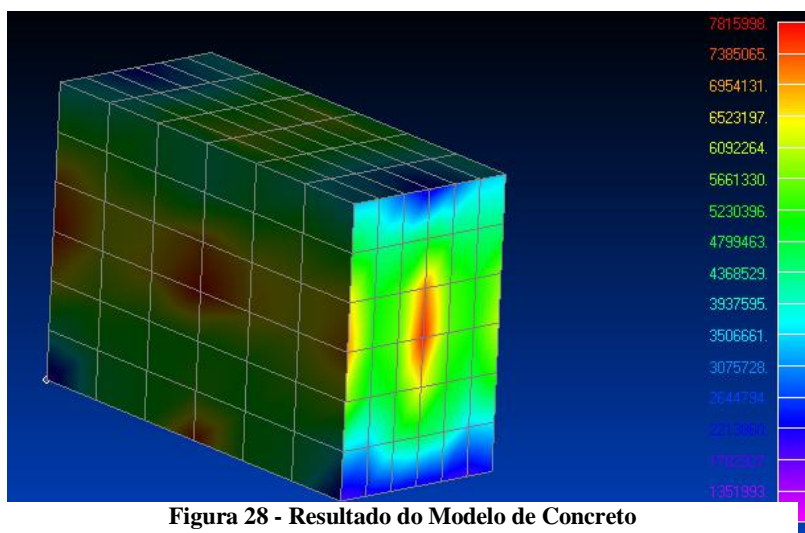


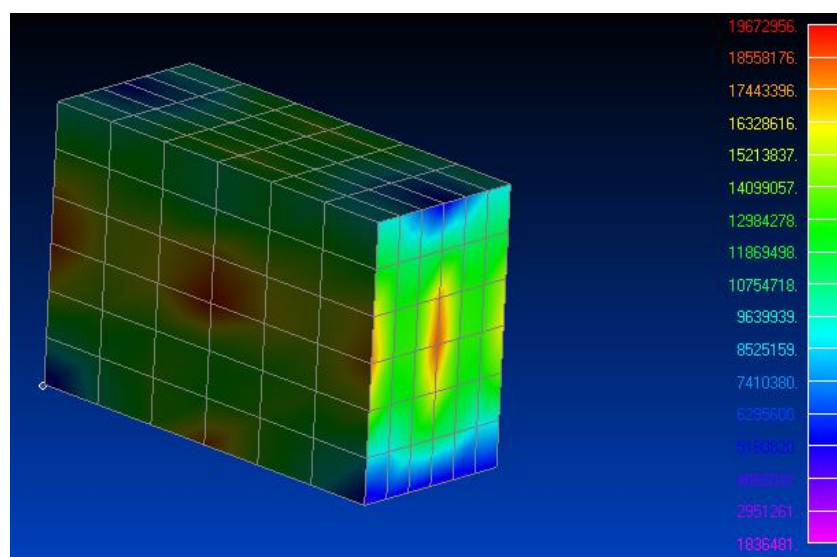
Figura 28 - Resultado do Modelo de Concreto



Nele obteve-se uma tensão máxima de 7815998 Pascal, ou 7,82 Mega Pascal nas regiões em vermelho que aparecem no desenho da figura 28.

### Otimização do Tanque

Como a tensão máxima obtida estava muito abaixo da tensão de escoamento, a espessura foi reduzida para 22 cm e o resultado pode ser visto a seguir, lembrando que a pressão no fundo mudou para 127 mil Newton por m<sup>2</sup> ( $[455 \text{ m}^2 \times 0,22 \text{ m} \times 2,5 \text{ ton/m}^3 + 647 \text{ ton}] \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1000 + /69,55 \text{ m}^2$ ) já que a espessura foi reduzida, o que reduziu o peso de concreto.



**Figura 29 - Resultado da Otimização**

Podemos notar que a espessura atendeu ao limite de escoamento, de maneira que mais material de concreto pôde ser economizado uma vez que a tensão máxima obtida foi de 19672956 Pascal, ou 19,67 Mega Pascal nas regiões em vermelho da figura 29.

### Movimentação do Tanque pelo Guindaste

Finalmente, resta saber se o tanque suporta a aplicação da força concentrada sobre os pontos em que ele será içado.

Foram considerados cinco pontos. Quatro nas extremidades e um central. A partir dos mesmos foi utilizado um elemento rígido para transferir a força de tração entre os nós “escravos”. No nó “principal” foi colocada a força de 2455000 Newton ( $455 \text{ m}^2 \times 0,22 \text{ m} \times 2,5 \text{ ton/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1000$ ) referente ao peso do concreto. Colocou-se a

condição de contorno de limitação vertical no fundo, de maneira a simular a tensão necessária para levantar o tanque.

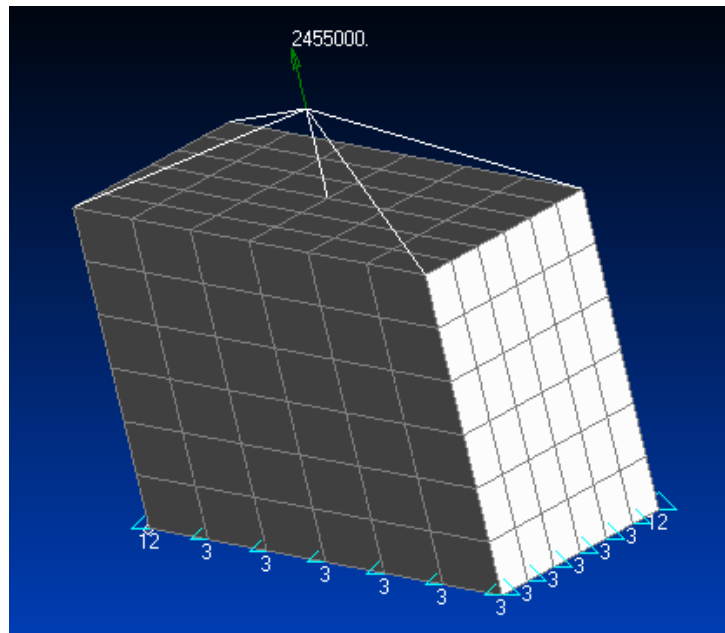


Figura 30 - Condição de Carregamento por guindaste

O resultado pode ser visto a seguir, em que a tensão de escoamento não foi atingida já que a tensão máxima de *Von Mises* de topo obtida no modelo é inferior à tensão de escoamento do concreto (1540500 Pascal = 1,54 Mega pascal < 20 Mpa). Essa tensão máxima está localizada nos pontos de contato onde é aplicada a força de tração para levantar o bloco de concreto e podem ser observadas nas regiões vermelhas da figura a seguir.

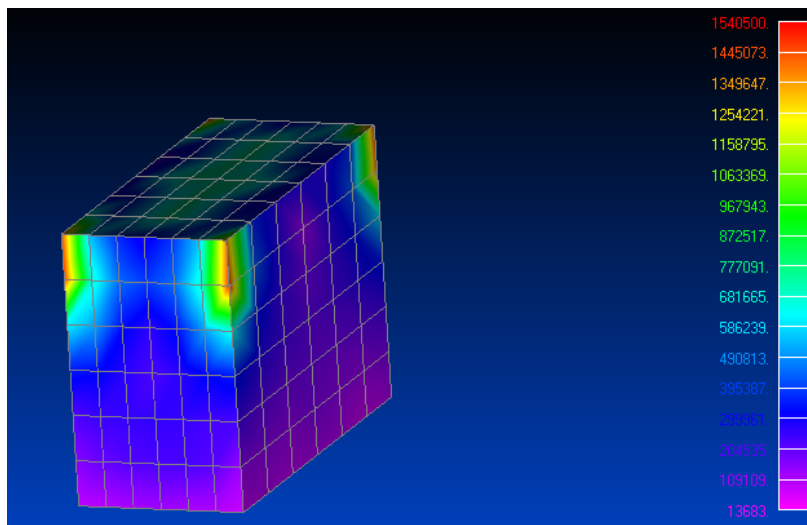


Figura 31 - resultado da Condição de Carregamento com guindaste

## Comparação de Preços

Nessa etapa é feito um comparativo preliminar e básico entre os preços de se utilizar tanques de concreto ou pintura para o revestimento.

Conforme visto anteriormente, o volume dos maiores tanques de concreto é de 100,1 m<sup>3</sup> (455 m<sup>2</sup> x 0,22m). Considerando doze tanques, temos um volume total de 1201,2 m<sup>3</sup>. De acordo com [28] temos a seguinte imagem que mostra o preço do concreto armado por região de compra.

REGIÃO	VALOR R\$ / m <sup>3</sup>	VARIAÇÃO DO MÊS ANTERIOR
São Paulo - SP	1185.18	+2.34%
Rio de Janeiro - RJ	1173.44	-0.49%
Belo Horizonte - MG	1012.81	+4.98%
Brasília - DF	1144.30	+7.89%
Porto Alegre - RS	1172.77	+3.48%
Florianópolis - SC	1198.94	+0.75%
Curitiba - PR	1129.24	+3.82%
Recife - PE	1032.98	+2.09%
Salvador - BA	1091.28	+7.66%
Fortaleza - CE	1053.51	-1.04%
Belém - PA	934.53	+0.81%

Material e mão-de-obra, inclusive Taxas de Lei Sociais e Riscos do Trabalho e BDI - Benefício e Despesas Indiretas da Firma empreiteira. Ferramentas e equipamentos necessários à execução dos serviços, bem como a movimentação de materiais dentro da obra são por conta da firma empreiteira.

**Figura 32 - Preço do Concreto Armado**

Considerando a média de preços da tabela acima, o preço de concreto fica em torno de 1100 reais por m<sup>3</sup>. Então, o preço dos doze tanques ficará em torno de um milhão e trezentos e vinte mil reais. Esse valor leva em conta a estimativa de mão de obra, andaimes e a aplicação do concreto, por exemplo.

Já para a tinta epóxi de revestimento, de acordo com os dados obtidos, temos o valor de 25 reais por metro quadrado (levando em conta a estimativa de impostos). No navio temos uma quantidade de 8800 m<sup>2</sup> de tanques de aço a serem pintados, em que serão utilizados três demão de tinta. Considerando que o navio será pintado apenas duas vezes ao longo de sua vida, temos um valor total de um milhão e trezentos e vinte mil reais.

Porém, isso sem considerar a mão de obra que deve ser mais cara do que a mão de obra para posicionar os tanques de concreto e também que demora muito mais para pintar tudo e secar. Além disso, considerando que durante toda a vida do navio será pintado

apenas duas vezes e sem levar em conta os custos relativos à preparação da superfície, montagem e desmontagem dos andaimes, mão de obra e revestimento.

O que, aparentemente e de maneira preliminar, mostra que a opção pela utilização do concreto pode ser economicamente viável e competitiva.

#### **5.4 Validação da Proposta - Estrutura**

Nessa etapa é feita a avaliação se a estrutura consegue suportar o peso dos tanques de concreto carregados de água oleosa. Para tanto, a análise levou em conta a pior região de tanque, ou seja, a que apresentava o maior tanque de concreto e com a carga mais pesada (água oleosa recém-chegada). Essa região pode ser observada na figura 25.

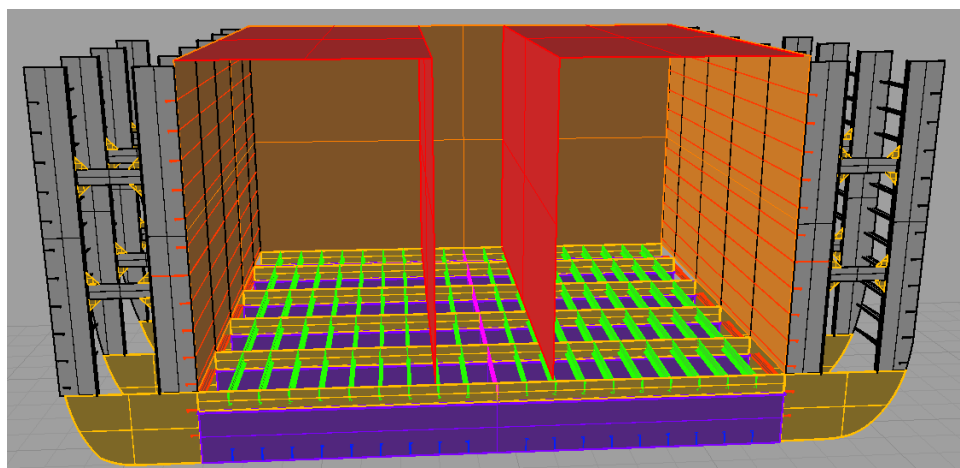
Primeiramente, devemos observar que a fixação dos tanques de concreto é feita através das anteparas longitudinais e do costado, que os manterão fixos dentro dos tanques de aço.

Além disso, será necessário remover o convés para posicionar os tanques de concreto.

Dessa maneira, após se retirar o convés, posicionar os tanques de concreto e recolocar o convés, resta saber se a estrutura do fundo é suficientemente reforçada para suportar o peso do tanque juntamente com o peso da água oleosa a ser processada.

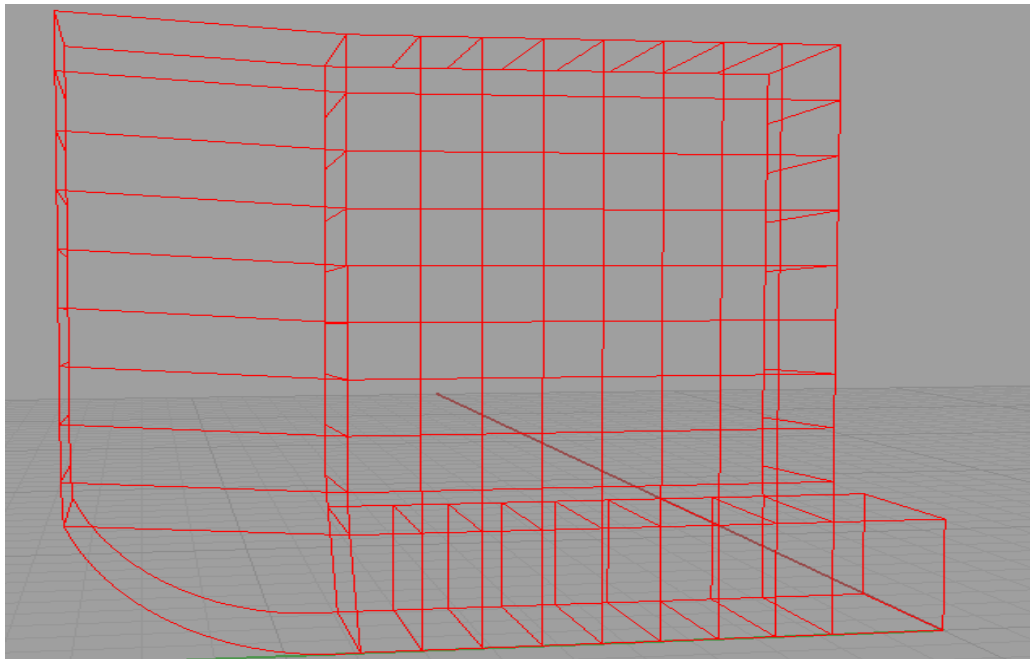
##### Tanques Escolhidos para Modelação

A seguir podemos observar o trecho a ser modelado. É importante observar que existe uma única longarina central e que os demais elementos longitudinais do fundo são reforçadores.



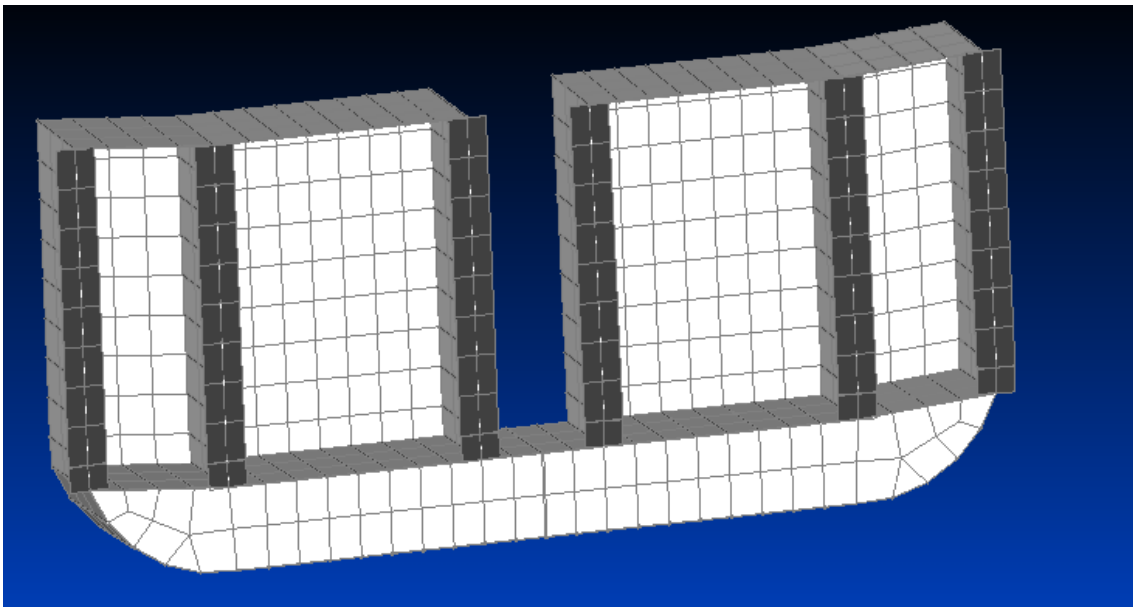
**Figura 33 - Região de Tanque a ser Modelada**

Os contornos de todos os elementos estruturais da seção (Chapas e reforçadores) foram feitos para possibilitar sua exportação ao programa de análise numérica.



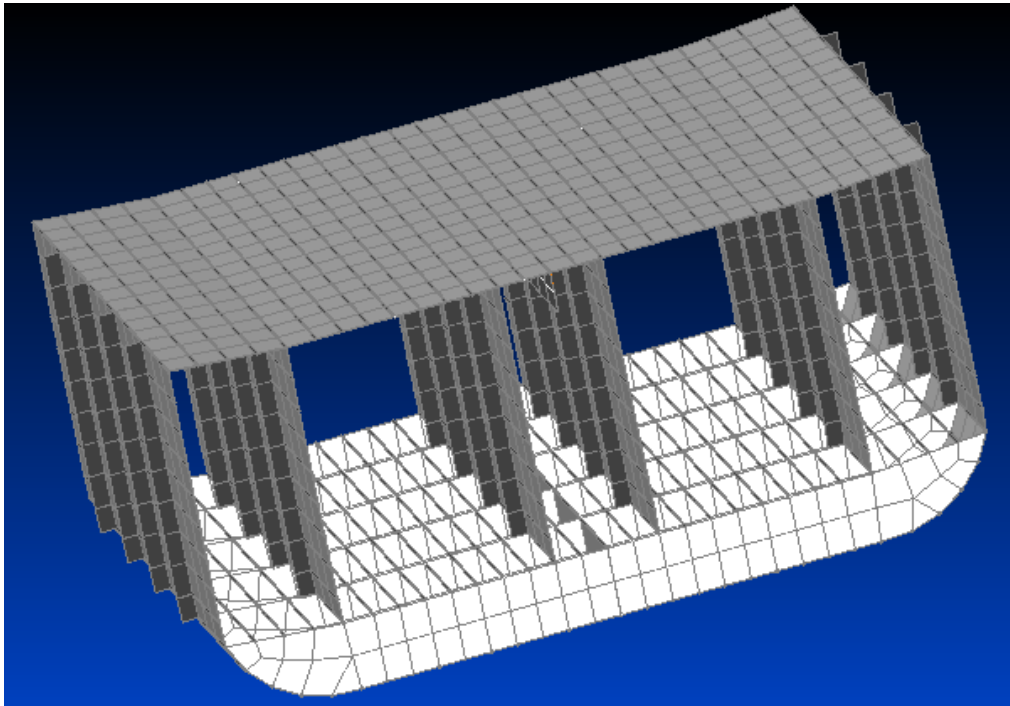
**Figura 34 - Contorno dos Elementos Estruturais**

A seguir podemos observar uma seção modelada.



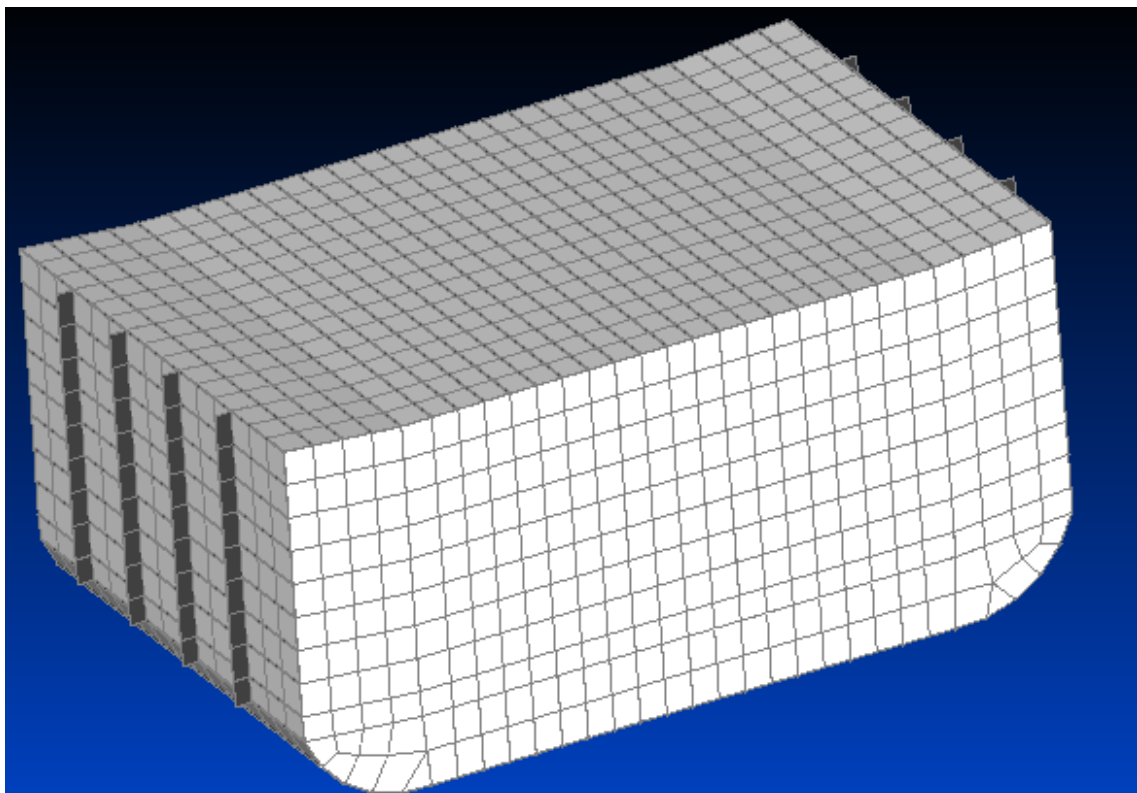
**Figura 35 - Uma Seção do Tanque Modelada**

A seguir podemos observar todas as seções modeladas que compõem o tanque estudado.



**Figura 36 - Tanque Modelado com Todas as Seções**

Finalmente, após posicionarmos as anteparas transversais, temos o modelo do nosso tanque:



**Figura 37 - Tanque Fechado**

### Unidades do Modelo

- Força = Newton [N]
- Comprimento = Metro [m]
- Tempo = [s]
- Aceleração da Gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$
- Material: Aço
- Módulo de Young = 210000 Mpa
- Tensão de Escoamento = 235 Mpa
- Coeficiente de Poisson = 0,3
- Massa Específica =  $7850 \text{ kg/m}^3$

### Espessuras dos Elementos Estruturais:

- Convés – 16mm
- Hastilhas – 12,5mm
- Longarina – 12,5mm
- Costado – 16mm
- Costado Duplo – 11mm
- Anteparas Longitudinais – 11mm
- Fundo – 18mm
- Antepara Transversal – 11mm

### Carregamento

O peso dos tanques de cimento acrescidos do peso da água oleosa foram colocados de forma distribuída sobre os nós das hastilhas (9 Mega Newton em 28 nós). Dessa maneira, cada nó recebeu uma força ao longo do eixo Z (negativo) de 322 KN. No modelo essa unidade é colocada em newtons (322000 N). A seguir vemos uma representação da aplicação das forças, onde as hastilhas, longarinas e anteparas transversais foram escondidas para uma melhor visualização.

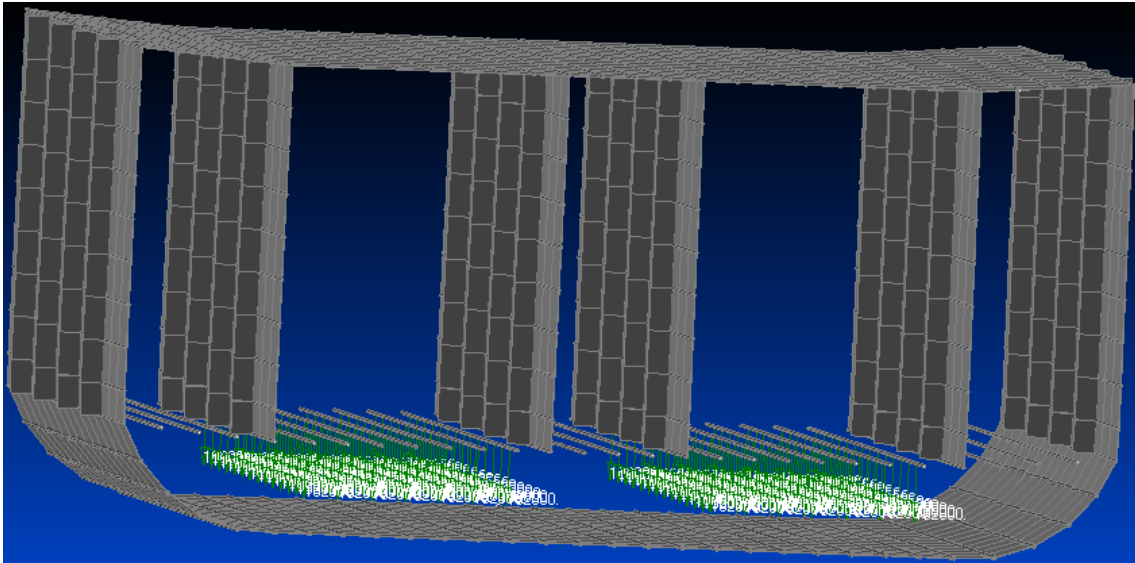


Figura 38 - Peso dos Tanques (Concreto + Água Oleosa) Colocados Sobre as Longarinas e Hastilhas

### Momento Fletor

Em seguida, devemos levar em conta o efeito da viga navio na modelação. Dessa maneira, são feitos os cálculos do momento fletor para a viga navio.

O cálculo desse momento foi feito utilizando a regra da DNV Pt.3 Ch.1 Sec.5. [5]. De acordo com a regra, o momento fletor é composto pela soma entre a parcela devido à condição em águas tranquilas ( $M_{S0}$ ) e a parcela relacionada à ondas ( $M_{W0}$ ).

Para a condição de águas tranquilas, temos:

$$M_{S0} = -0.065C_W L^2 B (C_B + 0.7) (\text{kNm}) [\text{tosamento}]$$

$$M_{S0} = C_W L^2 B (0.1225 - 0.015C_B) (\text{kNm}) [\text{Alquebramento}]$$

Para a condição de ondas, temos:

$$M_{W0} = -0.11\alpha C_W L^2 B (C_B + 0.7) (\text{kNm}) [\text{tosamento}]$$

$$M_{W0} = 0.19\alpha C_W L^2 B C_B (\text{kNm}) [\text{Alquebramento}]$$

Onde:

$$\alpha = 1;$$

L = Comprimento entre Perpendiculares (155m);



B = Boca (26m);

$C_B =$  Coeficiente de Bloco (0.75);

$$C_W = \text{Coeficiente de onda} \left(10.75 - \left[\frac{300 - L}{100}\right]^{3/2}\right) = 28,36$$

Substituindo os valores, temos:

$$M_{SO} = -1669645,73(\text{kNm})[\text{tosamento}]$$

$$M_{SO} = 1970802,00(\text{kNm})[\text{Alquebramento}]$$

$$M_{WO} = -2825554,30(\text{kNm})[\text{tosamento}]$$

$$M_{WO} = 2524398,05(\text{kNm})[\text{Alquebramento}]$$

Finalmente, os momentos em tosamento e alquebramento são dados, respectivamente por:

$$M_{\text{Tosamento}} = -4495200,03 \text{ (kNm)};$$

$$M_{\text{Alquebramento}} = 4495200,03 \text{ (kNm)}.$$

### Condições de Contorno

Agora, devemos aplicar essas forças e também as condições de contorno ao modelo. Para tanto, novamente, foi recorrida à regra da DNV, Classification Notes No 31.3, item 2.5[6]. Nesse item é recomendado o posicionamento de molas no modelo. A localização das mesmas, segundo a norma, é na interseção entre as linhas do costado e antepara transversal, fundo e antepara transversal, antepara longitudinal e transversal, costado e convés, costado e fundo.

O cálculo recomendado pela regra para a rigidez (K) da mola é dado por:

$$K = \frac{8 \times A \times E}{7.8 \times 3 \times L}$$

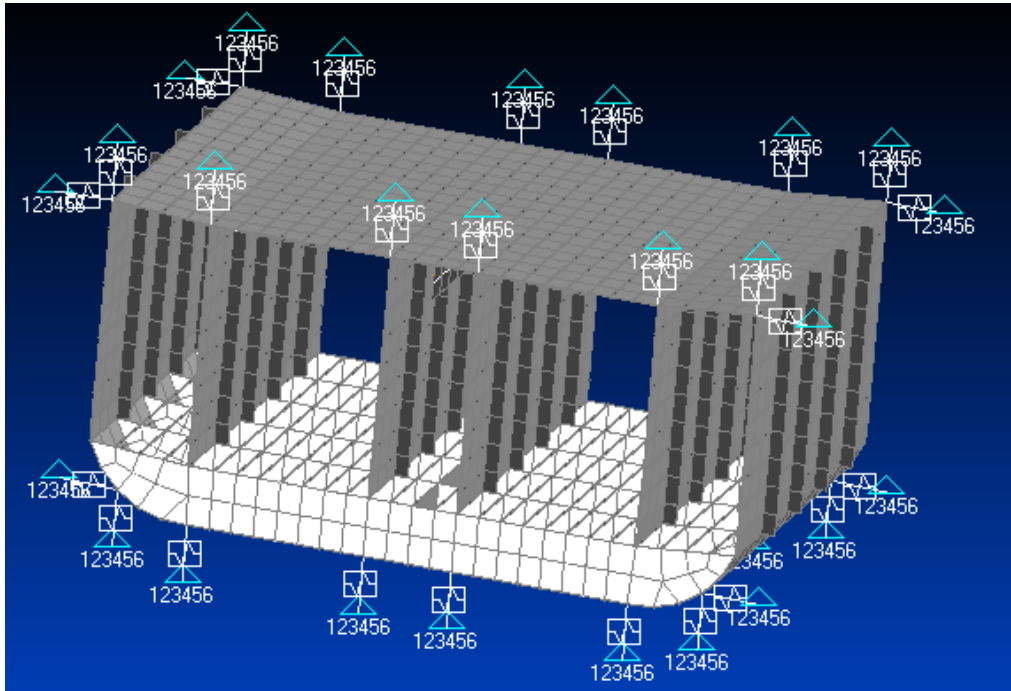
Onde:

L = Comprimento do Tanque (166045mm);

$E =$  Módulo de Elasticidade (210000 N/mm);

$A =$  Área de Cisalhamento (Multiplicação entre o comprimento da chapa e sua espessura);

A seguir, podemos ver o posicionamento das molas no modelo.



**Figura 39 - Posicionamento das Molas do Modelo**

Já para as condições de contorno utilizamos a tabela A.1 da mesma regra, mostrada a seguir.

Table A.1 Boundary conditions for cargo tank analysis of tankers when hull girder bending moments are applied						
Location	Displacement			Rotation		
	$\hat{\alpha}_x$	$\hat{\alpha}_y$	$\hat{\alpha}_z$	$\hat{\theta}_x$	$\hat{\theta}_y$	$\hat{\theta}_z$
Plane A	L	L	L	L	L	L
Plane B	X	X	X	X	X	X
Centreline (when applicable)		X		X		X
Point a,b	$F_{a,b}$					

X Fixed.

L Rigid body linearly dependent.

$F_{a,b}$  Force according to the above. Forces acting in opposite direction at point a and b.

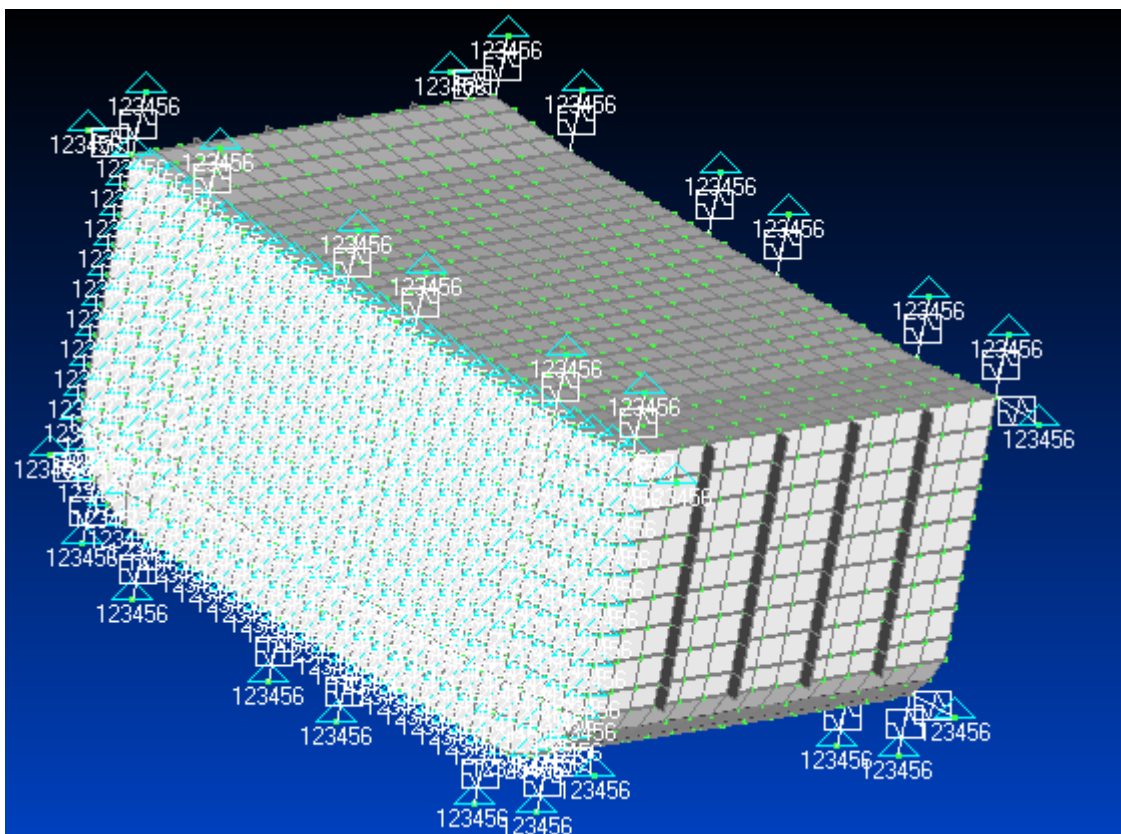
**Figura 40 - Condições de Contorno para o Momento Fletor de Acordo com a Regra da DNV**

Dessa maneira, para a aplicação da condição com momento fletor, o ultimo plano transversal deve estar engastado, enquanto o outro deve estar ligado a um elemento rígido posicionado na extremidade da linha neutra. Nesse elemento é aplicado o momento fletor calculado anteriormente para que a estrutura seja estimulada a “girar” em torno do eixo transversal.

É interessante notar que ao utilizar elemento rígido, estes elementos fazem uma ligação entre o nó independente (*master*) e os nós dependentes (*slaves*), onde as restrições, forças e momentos que forem aplicados ao nó principal serão transferidos de forma ponderada para os nós escravos.

Finalmente, foi colocada uma restrição longitudinal no nó principal do elemento rígido, permitindo que o mesmo possa se movimentar nas demais direções e rotacionar em todos os eixos.

A imagem do plano engastado pode ser vista a seguir.



**Figura 41 - Posicionamento das Condições de Contorno (Engaste)**

A imagem do elemento rígido no outro plano pode ser vista a seguir.

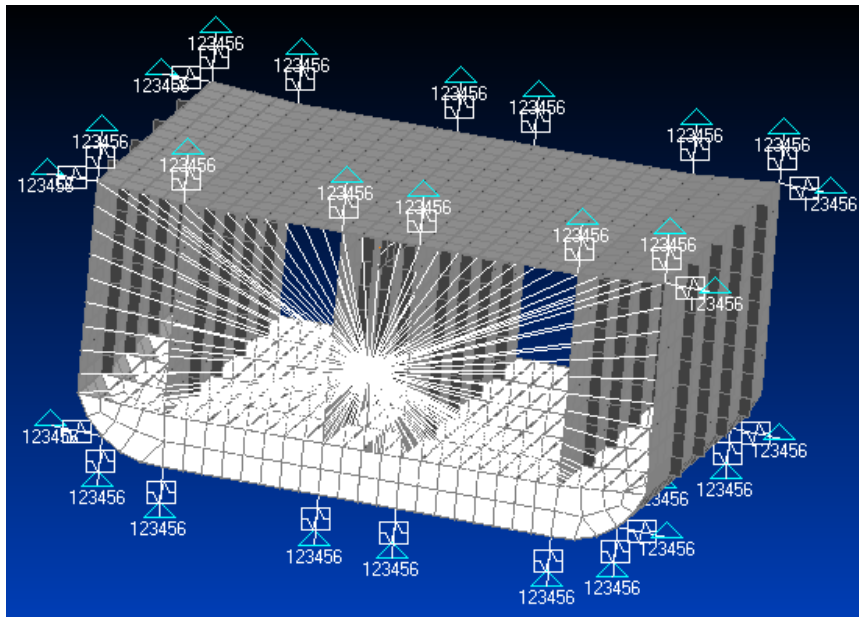


Figura 42 - Posicionamento das Condições de Contorno (Elemento Rígido)

### Resultados

Então, ao rodar o modelo considerando o momento fletor aplicado no nó principal do elemento rígido e também o peso do tanque junto com a água produzida, o seguinte resultado foi obtido, lembrando que essa análise leva em consideração se a tensão máxima de *Von Mises* obtida no modelo é inferior à 80% da tensão de escoamento do aço (188 Mpa). É importante notar que os resultados estão em Pascal.

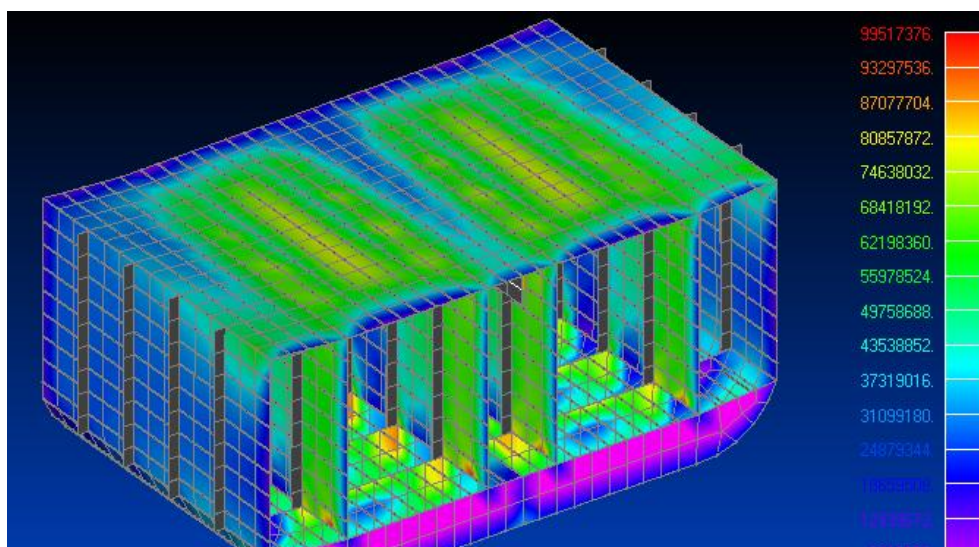
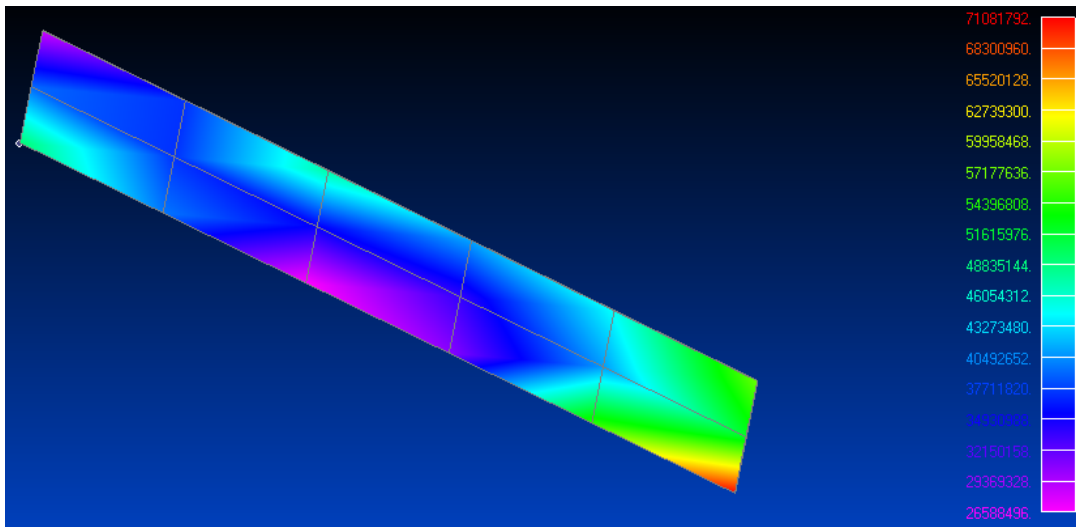


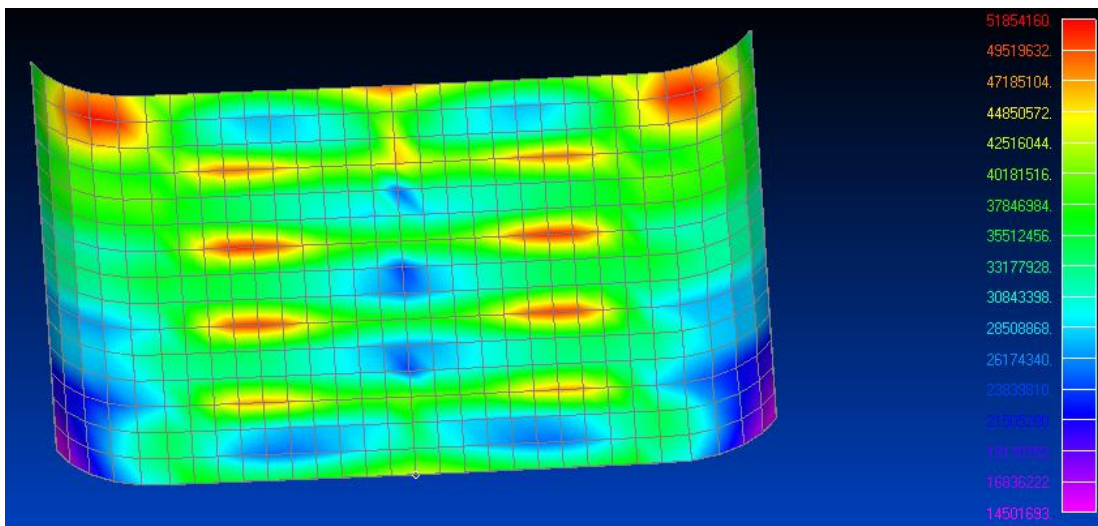
Figura 43 - Resultados Obtidos no Modelo Completo

Já para a Longarina Central, temos uma tensão máxima de 71081792 Pascal ou 71,08 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada no canto inferior da longarina, na região em vermelho da figura abaixo.



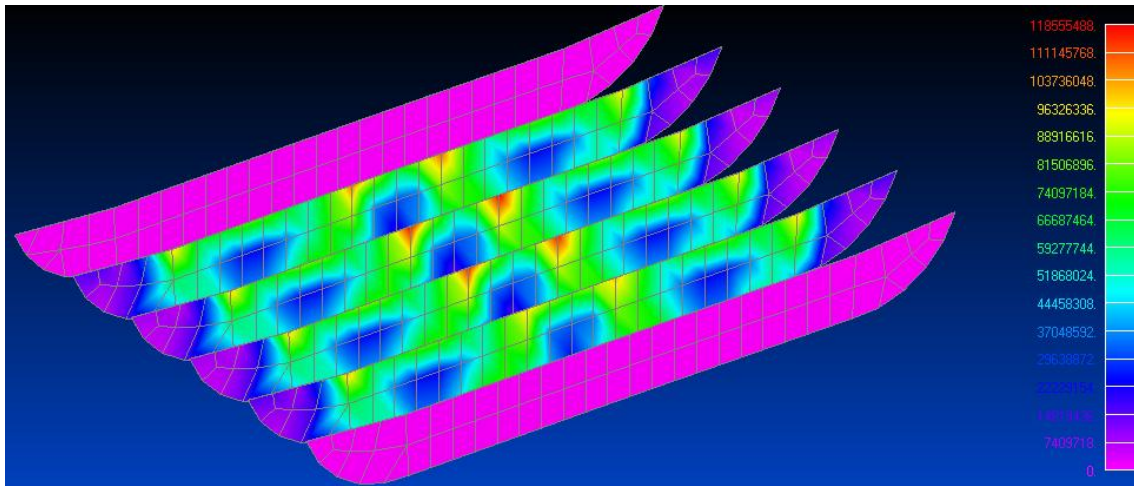
**Figura 44 - Tensão Obtida nas Longarinas**

Para o fundo, temos uma tensão máxima de 51854160 Pascal ou 51,85 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho da figura abaixo.



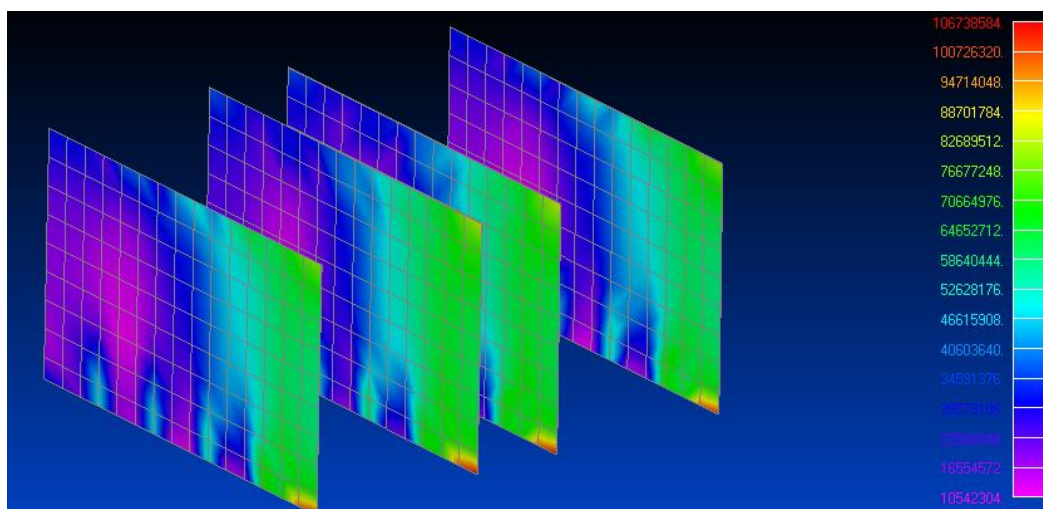
**Figura 45 - Tensão Obtida no Fundo**

Para as hastilhas, temos uma tensão máxima de 118555488 Pascal ou 118,56 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho no topo das hastilhas.



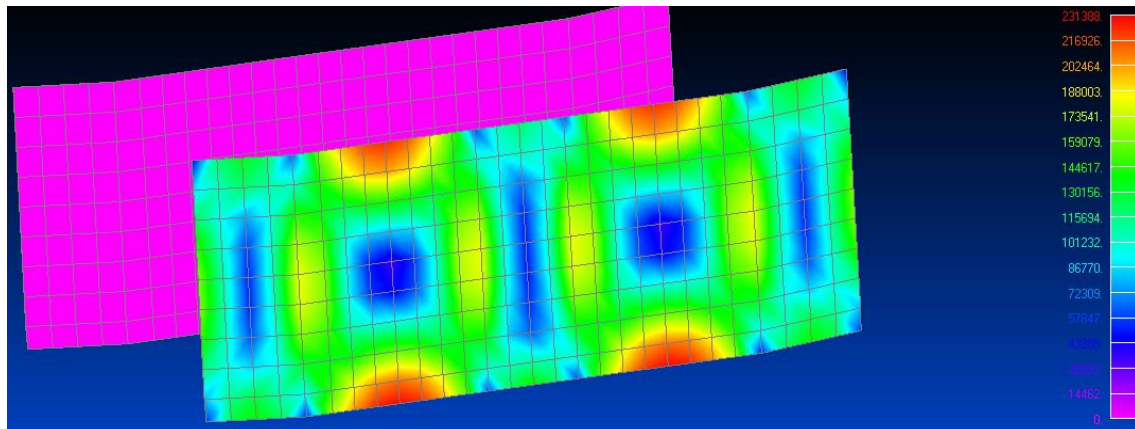
**Figura 46 - Tensão Obtida nas Hastilhas**

Para as anteparas longitudinais, temos uma tensão máxima de 106738584 Pascal ou 106,74 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada na região em vermelho no canto inferior das anteparas, como pode ser visto na imagem a seguir.



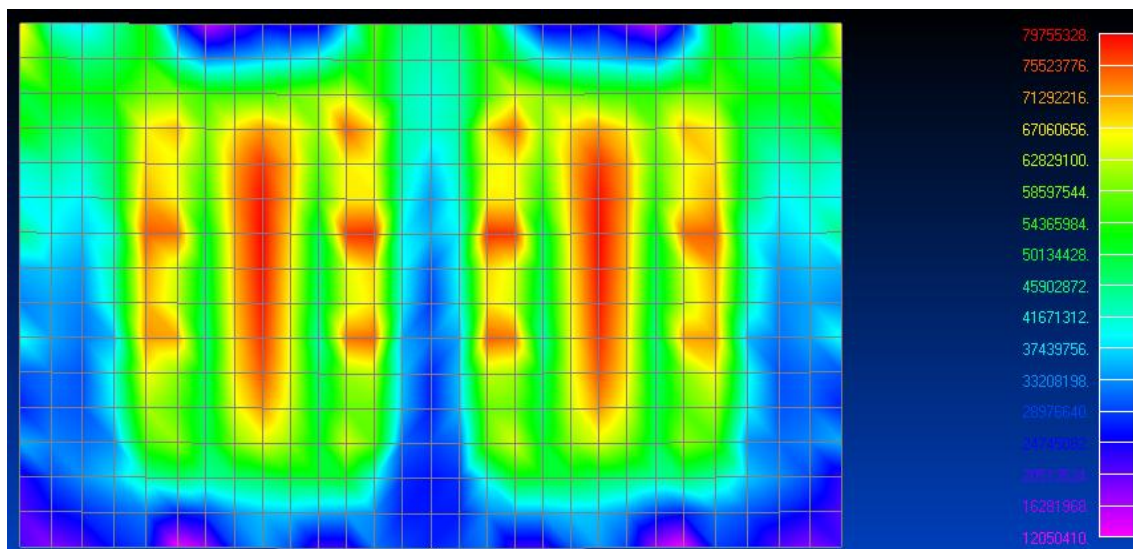
**Figura 47 - Tensão Obtida nas Anteparas Longitudinais**

Para as anteparas transversais, temos uma tensão máxima de 231388 Pascal ou 0,231 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho na figura abaixo.



**Figura 48 - Tensão Obtida nas Anteparas Transversais**

Para o convés, temos uma tensão máxima de 79755328 Pascal ou 79,76 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho na figura abaixo.



**Figura 49 - Tensão Obtida no Convés**

Dessa maneira, vemos que conseguimos respeitar a tensão limite de escoamento já que as maiores tensões obtidas foram nas hastilhas ( $106,74 \text{ Mpa} < 188 \text{ Mpa}$ ) sem que nenhuma mudança precise ser feita.

## 5.5 Validação da Proposta - Estabilidade

Após termos verificado que a estrutura é capaz de suportar o peso dos tanques carregados sem sofrer deformação plástica, devemos verificar se o arranjo dos mesmos passa nos critérios de estabilidade da IMO para as diferentes condições de carregamento durante o processamento da água oleosa.

A tabela a seguir mostra o volume de cada um dos tanques bem como a sua carga.

Tanque	Carga	Densidade (ton/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
1	Água oleosa	1.081	598.13
2	Água oleosa	1.081	548.13
3	Água Processada 1	1.060	548.13
4	Água Processada 2	1.040	548.13
5	Água Processada 3	1.020	548.13
6	Água Tratada	1.000	548.13
7	Água oleosa	1.081	598.13
8	Água oleosa	1.081	548.13
9	Água Processada 1	1.060	548.13
10	Água Processada 2	1.040	548.13
11	Água Processada 3	1.020	548.13
12	Água Tratada	1.000	548.13

Figura 50 - Tabela de Volume, Densidade e Carga

Os critérios de estabilidade utilizados foram os da IMO A.748 (18) Ch 3 e estão resumidamente listados abaixo:

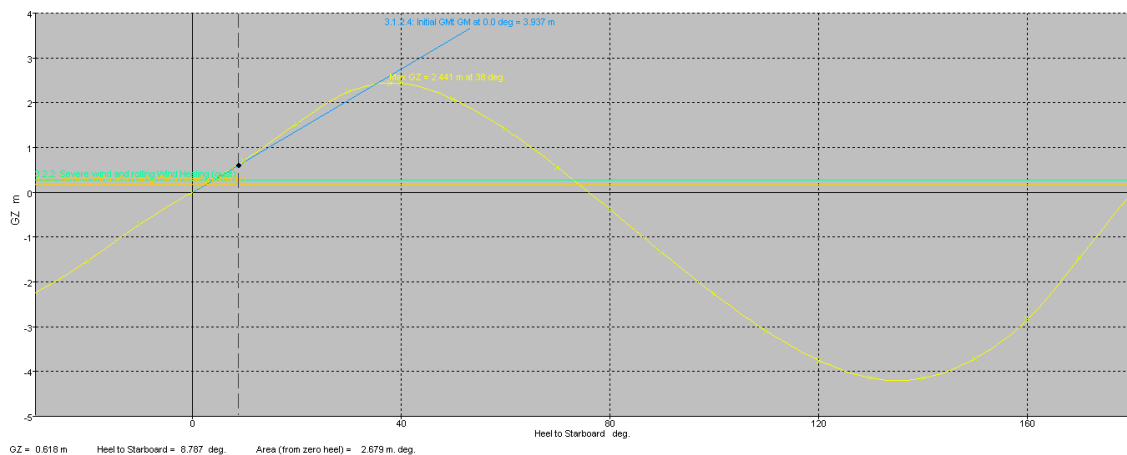
- A área mínima para a curva de estabilidade estática (CEE) deve ser maior ou igual a 0,055 m\*rad entre os ângulos de inclinação 0 graus e 30 graus;
- A área mínima para a curva de estabilidade estática (CEE) deve ser maior ou igual a 0,090 m\*rad entre os ângulos de inclinação 0 graus e 40 graus;
- A área mínima para a curva de estabilidade estática (CEE) deve ser maior ou igual a 0,030 m\*rad entre os ângulos de inclinação 30 graus e 40 graus;
- O braço de endireitamento (GZ) deve ser pelo menos 0,20 m para ângulos de inclinação de 30 graus ou mais;
- O braço máximo de endireitamento (GZMAX) deve ocorrer para um ângulo de inclinação preferencialmente maior que 30 graus, mas não deve ser menor que 25 graus;



- A altura metacêntrica inicial (GM) não deve ser menor do que 0,15 m;
- Critério de vento e balanço, supondo velocidade máxima de vento de 100 nós (recomendação dada em aula), na região costeira brasileira, onde o ângulo de banda deve ser menor que 16° e a relação de áreas, A1/A2 maior que 100%.

Para as condições de carregamento foram feitas duas. O navio com todos os tanques carregados (97% cheios) e com todos os tanques vazios (10% cheios), de maneira que as demais condições de carregamento são englobadas por essas duas extremas. Dessa forma, garantindo que a embarcação apresente estabilidade nessas duas condições, podemos garantir que ela apresentará em todas as demais condições (para valores intermediários a esses). Lembrando que quando o tanque de um bordo começa a encher o tanque simétrico, no bordo oposto, também começa a encher de forma a não ocorrer banda.

Condição de carregamento cheia (97% de volume nos tanques):

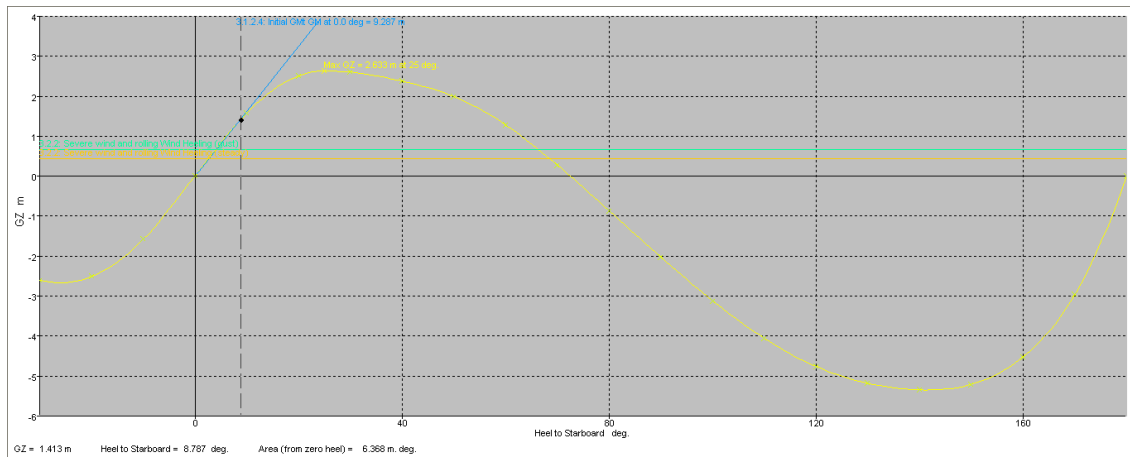


**Figura 51 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia**

	Requerida	Atual	Resultado
Area 0° a 30° (m.rad)	0.055	0.589	Passou
Area 0° a 40° (m.rad)	0.09	1.005	Passou
Area 30° a 40° (m.rad)	0.03	0.416	Passou
Max GZ a 30° (m)	0.2	2.441	Passou
Ângulo de GZ Max (°)	25	38	Passou
GM inicial (m)	0.15	3.937	Passou
Critério de Vento 1 (%)	100	269.093	Passou
Critério de Vento 2 (°)	16	2.6	Passou

**Figura 52 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia**

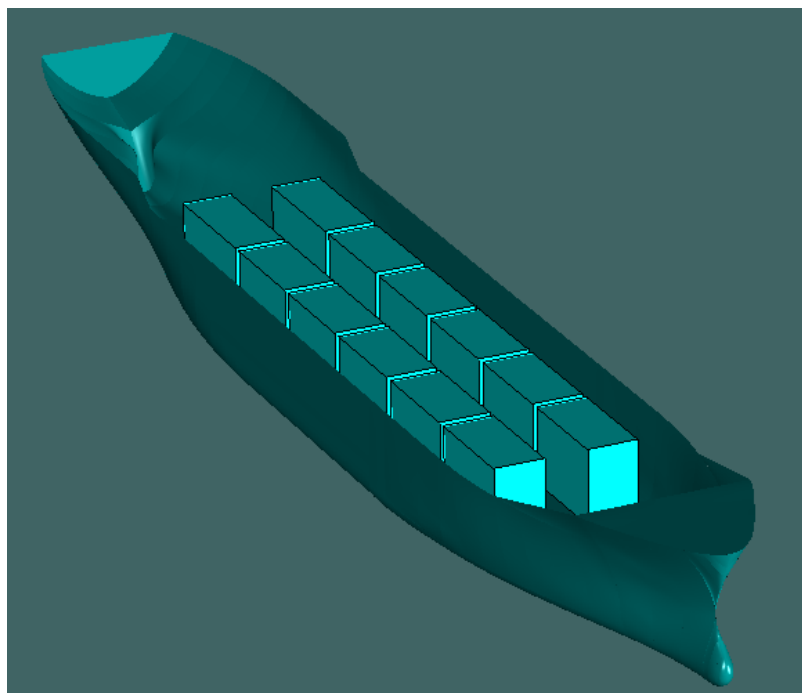
Condição de carregamento vazia (10% de volume nos tanques):



**Figura 53 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Vazia**

	Requerida	Atual	Resultado
Area 0° a 30° (m.rad)	0.055	0.967	Passou
Area 0° a 40° (m.rad)	0.09	1.404	Passou
Area 30° a 40° (m.rad)	0.03	0.437	Passou
Max GZ a 30° (m)	0.2	2.603	Passou
Ângulo de GZ Max (°)	25	25	Passou
GM inicial (m)	0.15	9.287	Passou
Critério de Vento 1 (%)	100	137.834	Passou
Critério de Vento 2 (°)	16	2.6	Passou

**Figura 54 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Vazia**



**Figura 55 - Modelação da Embarcação e Tanques para a Estabilidade**

Vemos que a embarcação obteve aprovação em todos os critérios para ambas as condições de carregamento, demonstrado que o arranjo dos tanques obtido é possível e aceitável.

## 6 TRATAMENTO DE ÁGUA E SUA OPERAÇÃO

Neste capítulo serão analisadas as opções de transferência do produto, o dimensionamento dos equipamentos para a transferência, além do dimensionamento do sistema de tratamento.

### 6.1 Operação de Carregamento

As operações de carregamento vão depender se serão feitas na região *offshore* ou próximo da costa. Em princípio foi considerada a opção offshore onde o carregamento da água produzida será feito por embarcações menores que se aproximam a uma distancia segura.

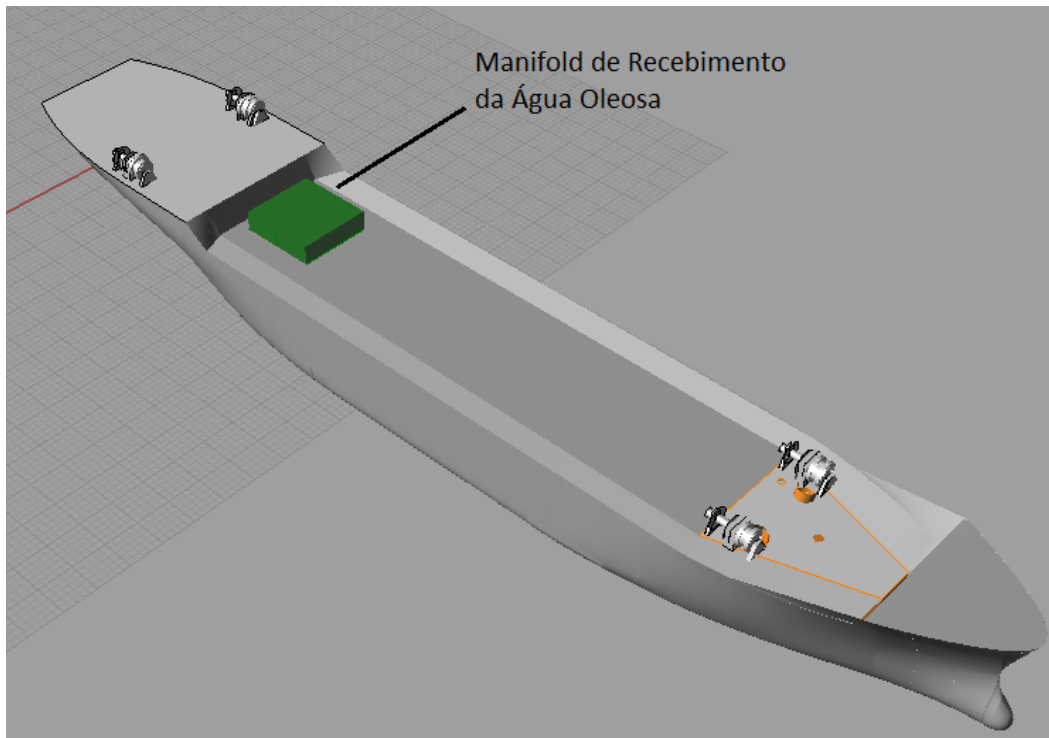
Para o caso das embarcações que se aproximam, a transferência ocorre por meio de um mangote que direciona o líquido até o manifold de recebimento no convés da embarcação e este faz a distribuição interna da água produzida entre os tanques. Dessa forma são preenchidos simultaneamente e não estimulam situações de banda.

Além disso, o volume máximo de água a ser colocada nos tanques de recebimento é de 1200 m<sup>3</sup> por vez.

Estipulou-se um tempo máximo de uma hora para que as transferências sejam feitas. Isso acontece porque em alto mar diversos são os fatores que podem colocar em risco a operação, de maneira que a mesma deva ser feita no menor tempo possível.

E também, para se manter a segurança, a embarcação poderá se aproximar a uma distancia mínima de 15 metros do Candiota.

A seguir, podemos ver o posicionamento do manifold na embarcação, colocado de maneira a melhor auxiliar o sistema de tratamento.



**Figura 56 – Manifold Posicionado na Embarcação**

O manifold receptor (aquele que vai receber a água oleosa) conta com uma tubulação de 18 polegadas (Diâmetro nominal), Schedule 40. Pelas tabelas da norma ANSI, o diâmetro interno é de 428,6 mm, a espessura é de 14,3 mm e a área da seção é de 1443,3 cm<sup>2</sup>. Essa operação deve durar no máximo uma hora e o sistema de posicionamento dinâmico da embarcação que traz a água oleosa deve estar ligado, tendo como referencia o navio Candiota.

A seguir, podemos ver a imagem da embarcação se aproximando para fazer a operação de envio da água oleosa ao candiota.

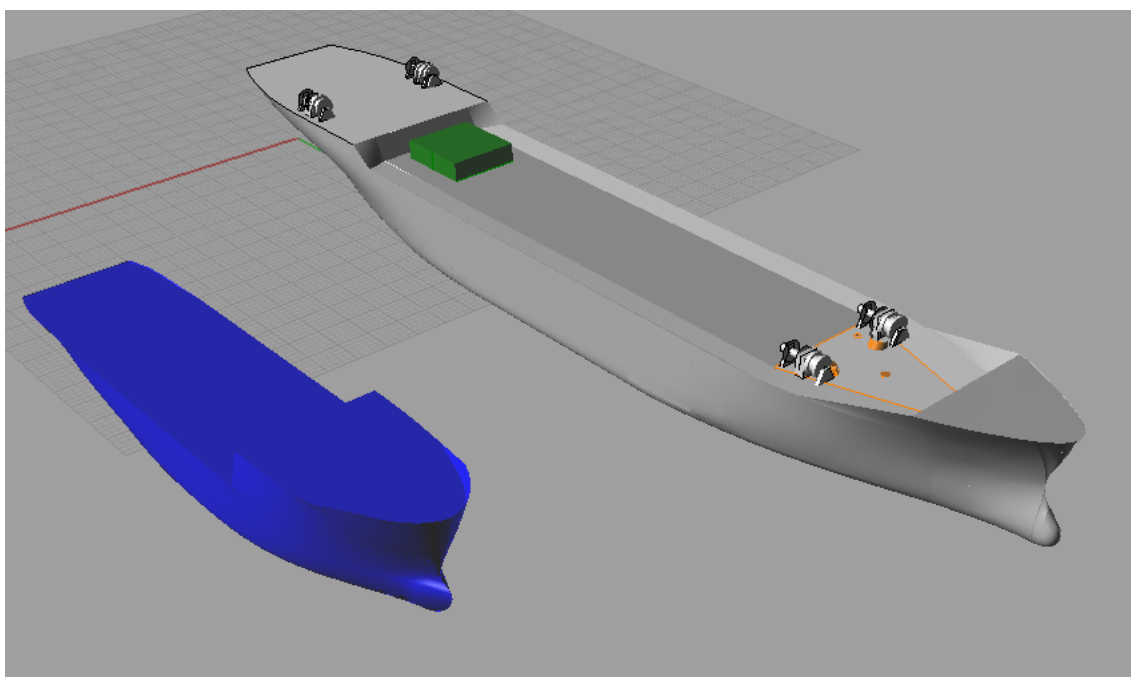


Figura 57 - Embarcação Próxima ao Candiota para Enviar a Água Oleosa

### 6.1.1 Manifolds

O manifold é um sistema utilizado para a movimentação de fluidos. Dentro desse sistema encontramos válvulas, bombas, tubulações e canais que possuem várias aberturas e conexões, auxiliando no direcionamento e intensidade do fluido passante.

A seguir vemos a imagem interna do manifold, em escala ampliada.

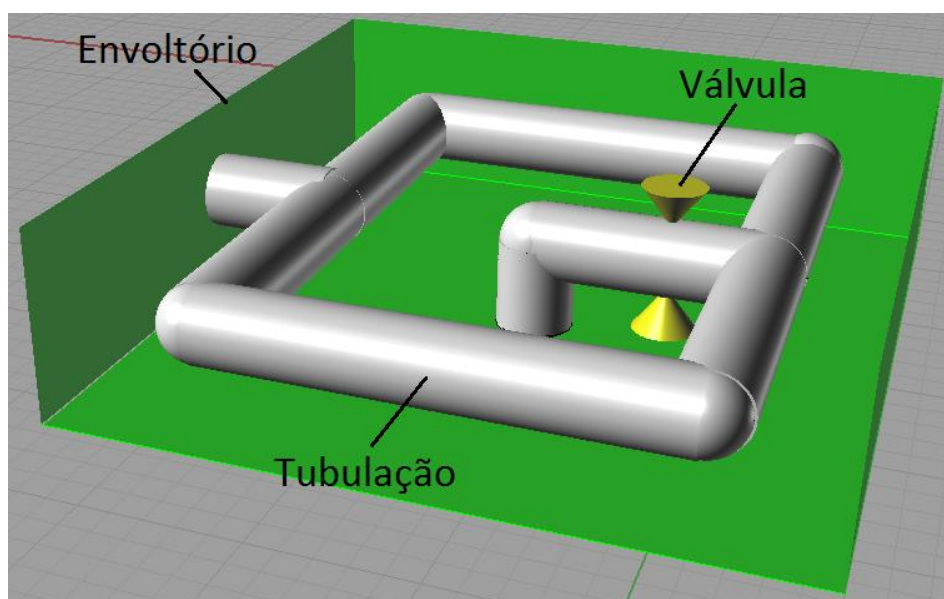


Figura 58 - Esquema do Manifold

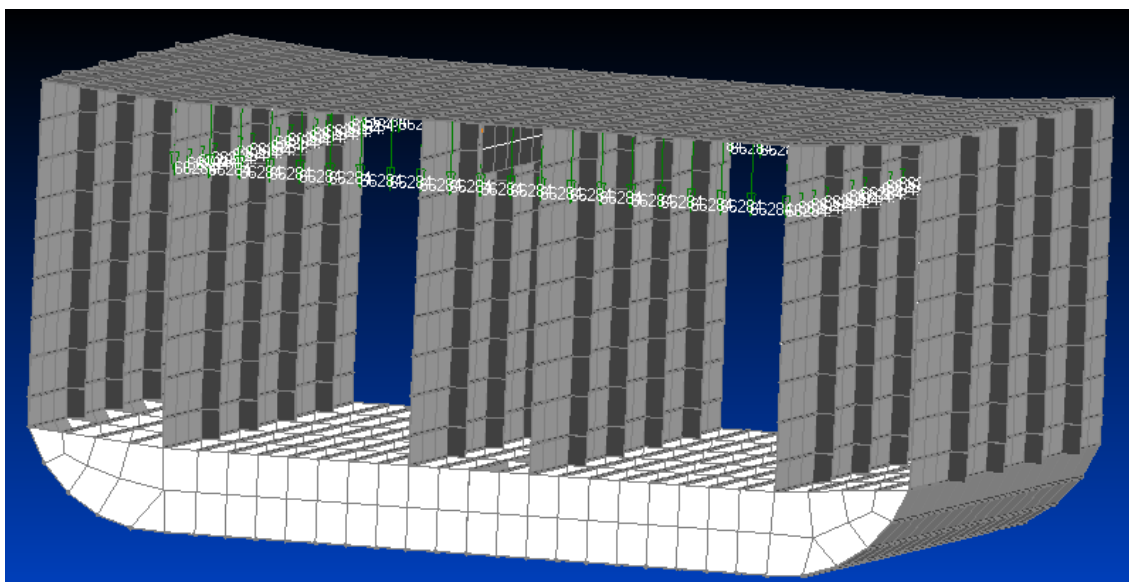
Vemos no manifold a presença da tubulação, do envoltório e das válvulas de controle de fluxo e emergência caso ocorra algum problema ou vazamento.

Resta agora verificar se a estrutura é suficientemente resistente para suportar o peso de todos esses equipamentos sem sofrer deformação plástica.

Para o cálculo do peso, considerou-se a densidade do aço igual a  $7,85 \text{ ton/m}^3$ . O peso da tubulação, envoltório, e válvulas juntos é de cerca de 500 toneladas. Dessa maneira, temos um peso de 4905000 Newtons sendo aplicado sobre a região do convés, logo acima dos tanques de recebimento da água produzida.

O peso foi distribuído pelos 74 nós de maneira que a carga aplicada ao longo do eixo Z negativo em cada um dos nós que delimitam a superfície de contato do manifold com o convés foi de 66284 newtons. É importante notar que esse contato é feito logo acima das anteparas internas.

A seguir podemos ver a imagem do peso do manifold sendo aplicado no convés da embarcação.



**Figura 59 - Aplicação do Peso do Manifold no Convés do Modelo**

E o resultado pode ser visto a seguir. Lembrando que essa análise leva em consideração se a tensão máxima de *Von Mises* de topo obtida no modelo é inferior à 80% da tensão de escoamento do aço (188 Mpa). É importante notar que os resultados estão em Pascal.

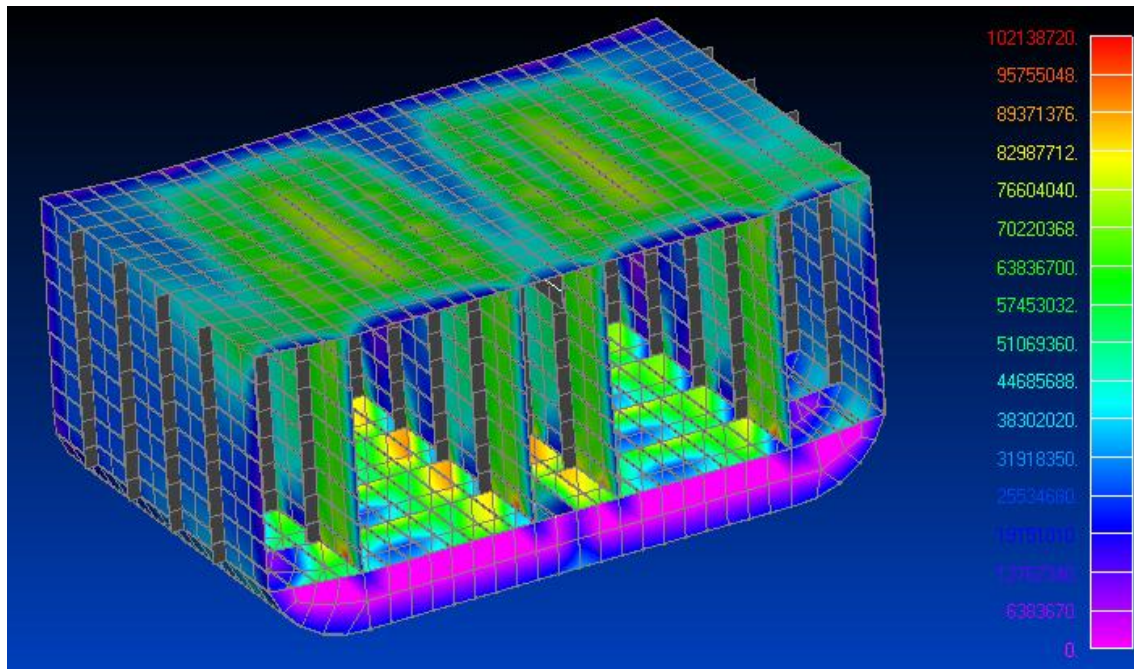


Figura 60 - Resultados Obtidos no Modelo Completo

Para o Fundo, temos uma tensão máxima de 52047028 Pascal ou 52,05 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho na figura abaixo.

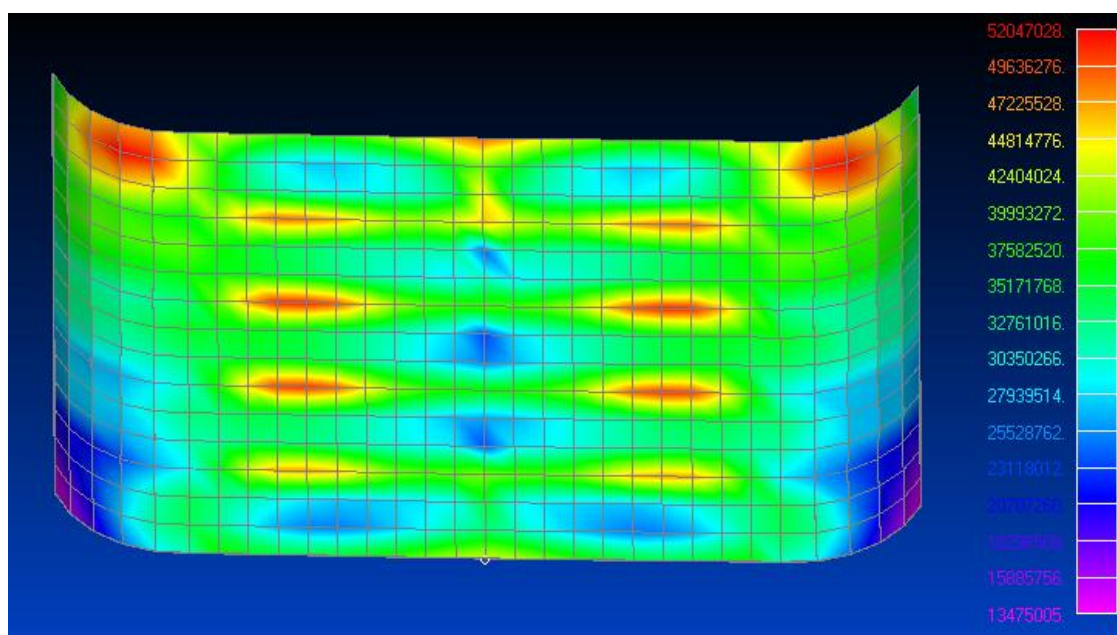
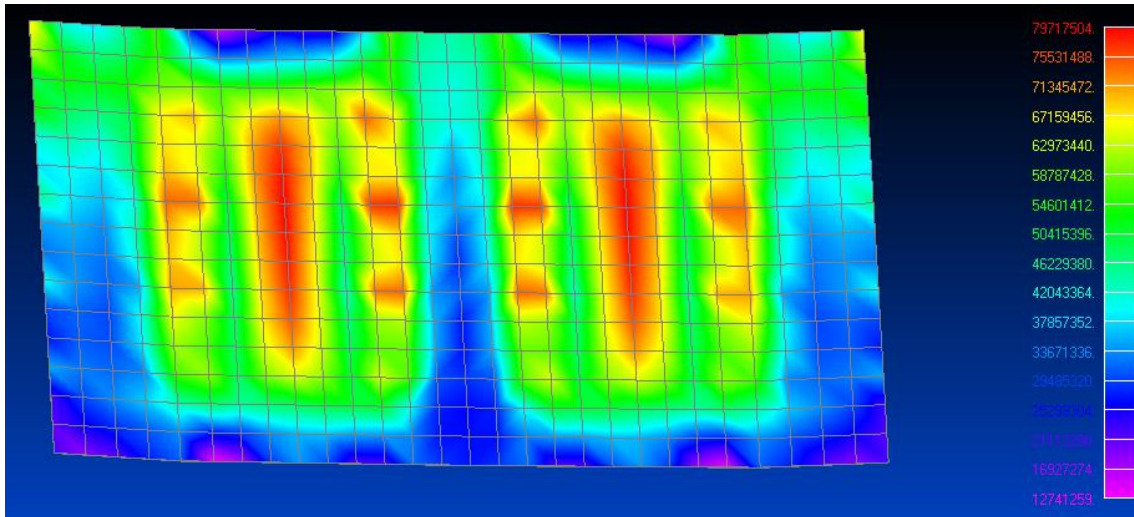


Figura 61 - Tensão Obtida no Fundo

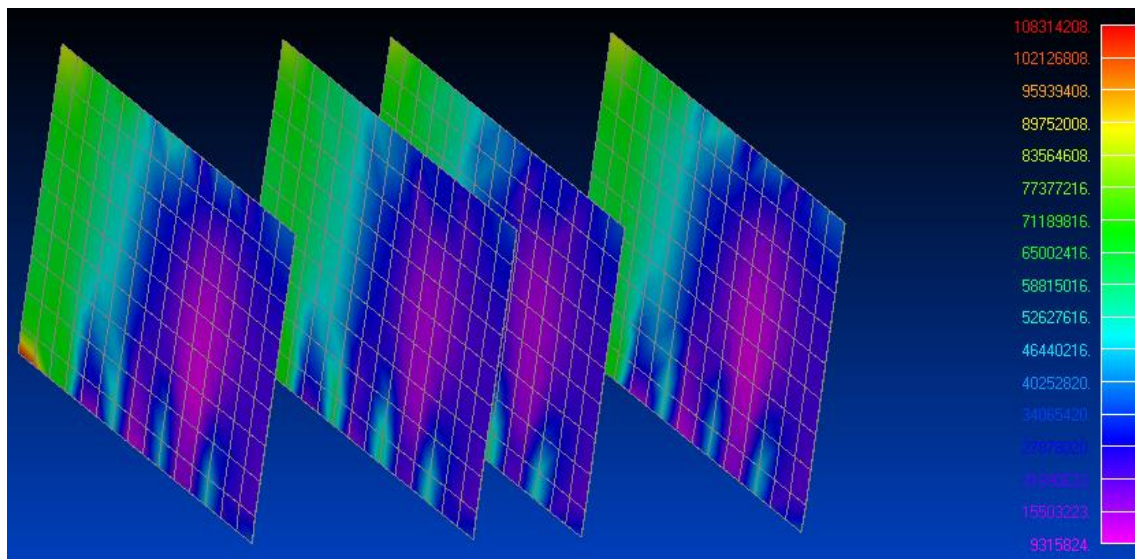


Para o Convés, temos uma tensão máxima de 79717504 Pascal ou 79,72 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho na figura abaixo.



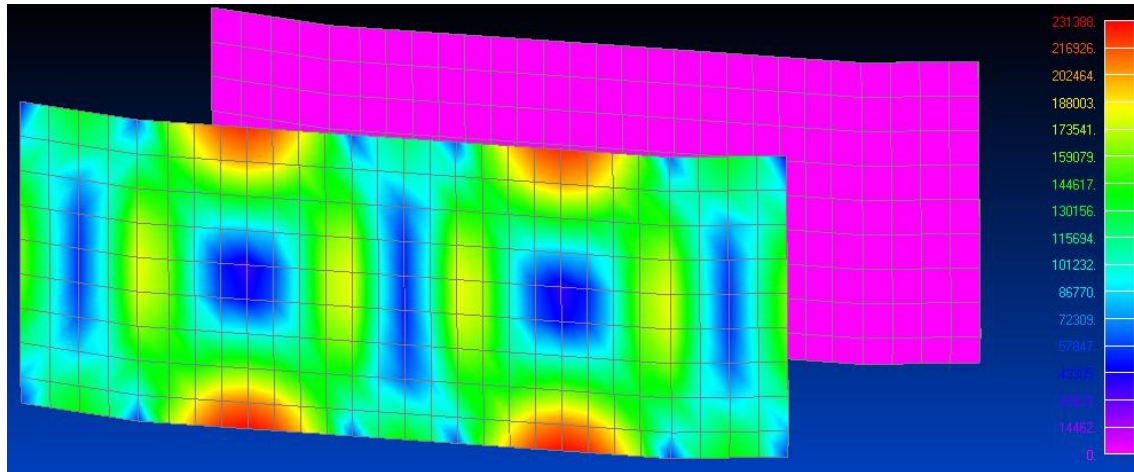
**Figura 62 - Tensão Obtida no Convés**

Para as Anteparas Longitudinais, temos uma tensão máxima de 108314208 Pascal ou 108,31 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho, no canto inferior das anteparas, e pode ser visto na figura abaixo.



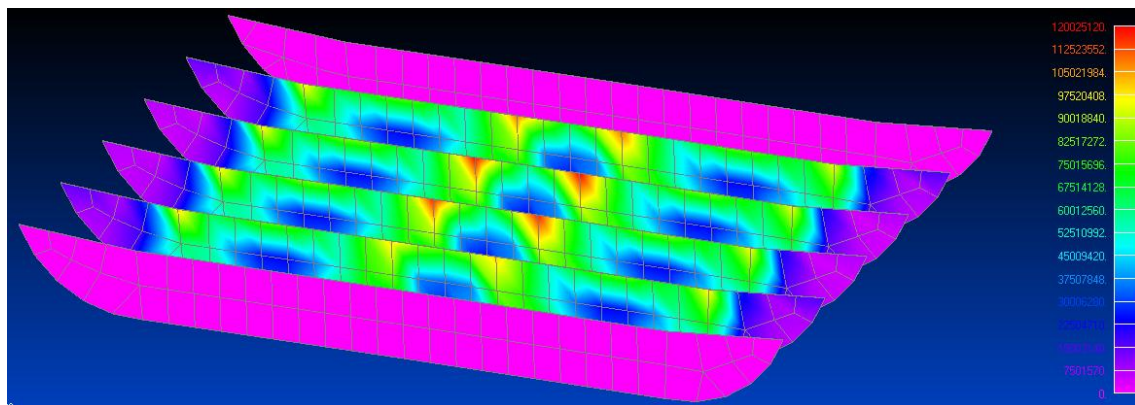
**Figura 63 - Tensão Obtida nas Anteparas Longitudinais**

Para as Anteparas Transversais, temos uma tensão máxima de 231388 Pascal ou 0,231 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho na figura abaixo.



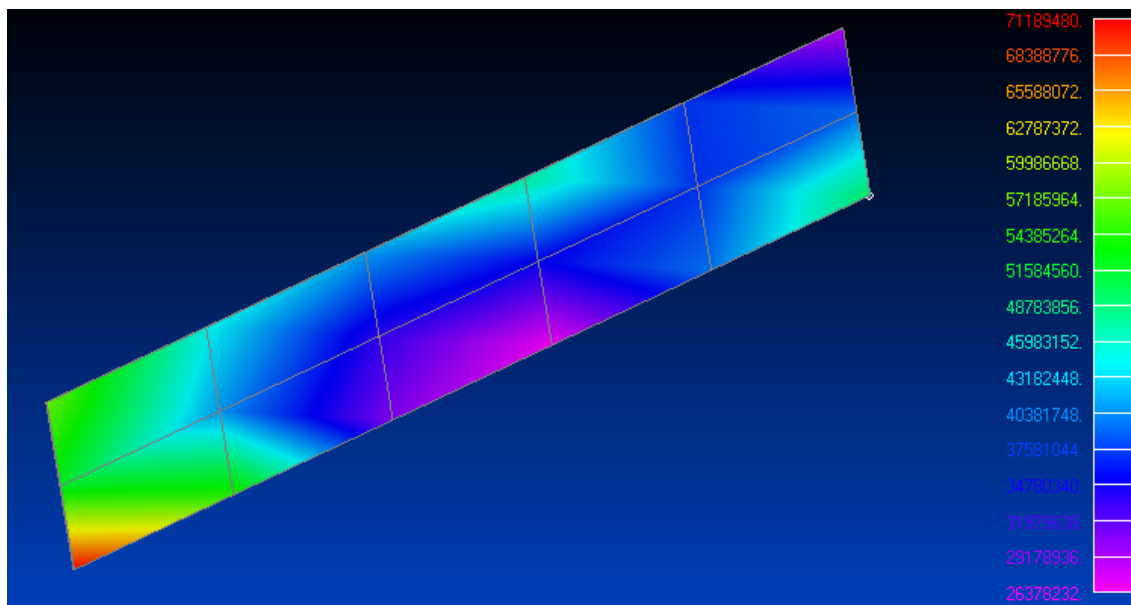
**Figura 64 - Tensão Obtida nas Anteparas Transversais**

Para as Hastilhas, temos uma tensão máxima de 120025120 Pascal ou 120,03 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho no topo das hastilhas e pode ser vista a seguir.



**Figura 65 – Tensão obtida das hastilhas**

Para a Longarina Central, temos uma tensão máxima de 71189480 Pascal ou 71,19 Mega Pascal. Essa tensão encontra-se concentrada no canto inferior da Longarina e pode ser vista na imagem a seguir.



**Figura 66 - tensão obtida na Longarina Central**

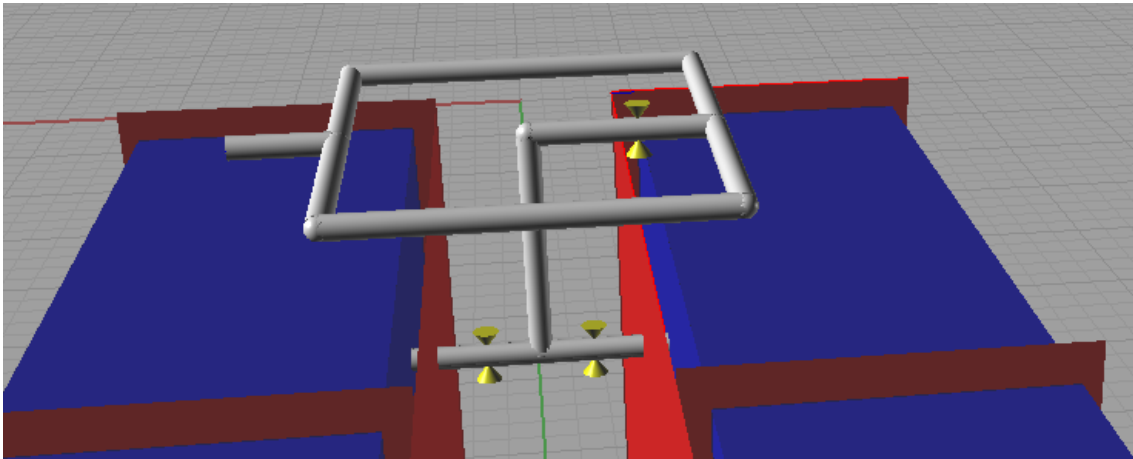
Dessa maneira, vemos que conseguimos respeitar a tensão limite de escoamento já que as maiores tensões obtidas foram nas hastilhas ( $120,03 \text{ Mpa} < 188 \text{ Mpa}$ ) sem que nenhuma mudança precise ser feita.

## **6.2 Proposta para o Arranjo do Sistema de Tratamento**

Primeiramente, devemos entender o processo de tratamento para fazer o arranjo da tubulação.

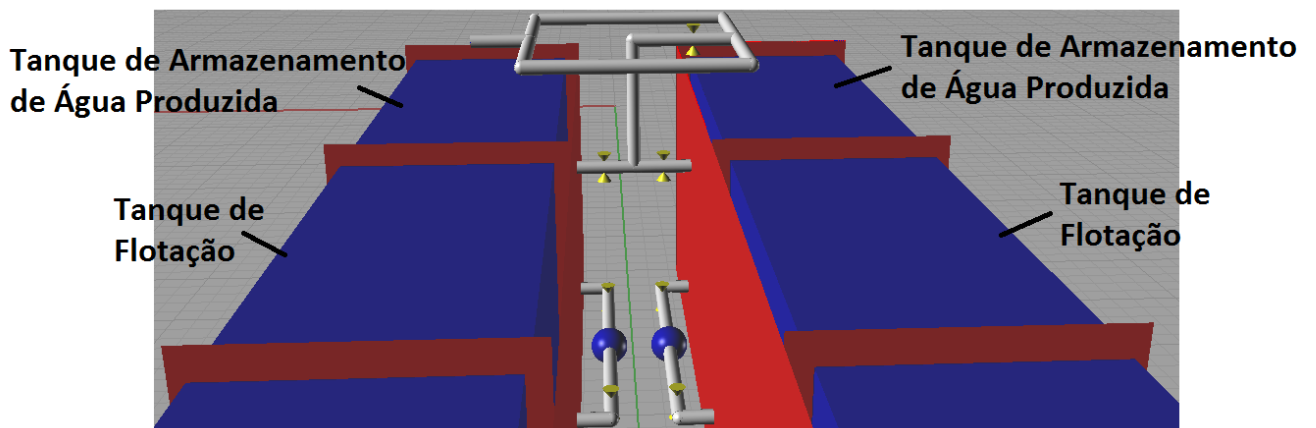
Tudo começa com a água produzida sendo captada da embarcação que traz a mesma por meio do manifold posicionado no convés do Candiota. Esse manifold apresenta um sistema de tubulações e válvulas de controle. Essas válvulas são colocadas como medida de segurança para garantirmos que a mesma quantidade de água oleosa entre ao mesmo tempo nos tanques de cada bordo e a uma vazão adequada.

A seguir podemos ver a imagem do posicionamento do manifold e sua conexão com os tanques.



**Figura 67 - Manifold Conectado aos Tanques Receptores**

Em seguida, após o tanque ser preenchido, uma nova tubulação com suas respectivas bombas e válvulas de controle e segurança faz a transferência dos tanques de armazenamento da água oleosa para os tanques de flotação, como pode ser observado na imagem abaixo.



**Figura 68 - Arranjo da Tubulação de Transferência Entre os Tanques de Armazenamento e Flotação**

O tanque de flotação precisa do componente  $H_2O_2$ , para estimular a formação de bolhas que farão a ascensão do óleo. Dessa maneira, foi posicionado um tanque com esse componente bem em frente aos tanques de flotação.

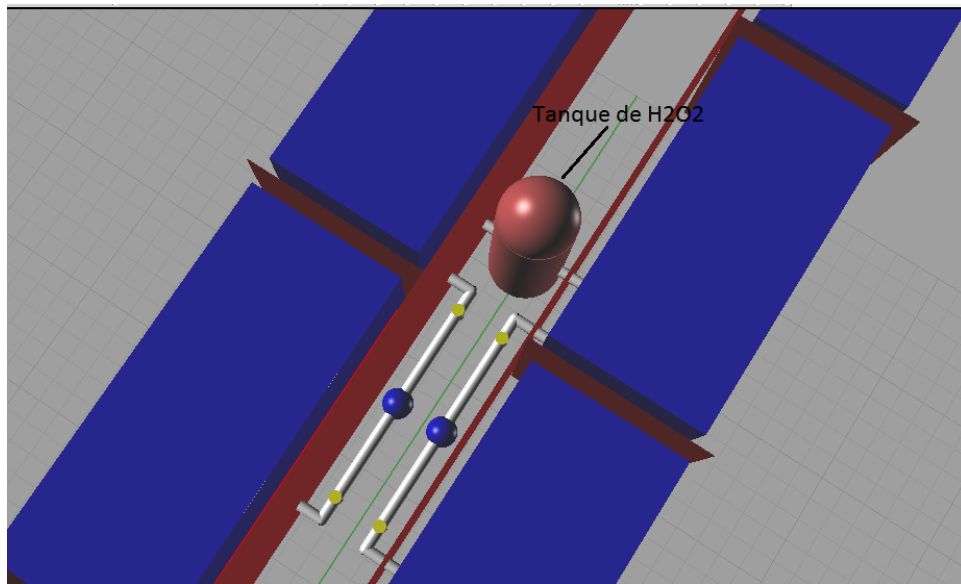


Figura 69 - Posicionamento do Tanque de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

A ideia é fazer com que o óleo suba, enquanto que a água, com menores taxas de óleo, decante e passe ao próximo tanque enquanto que o óleo remanescente nesse tanque escoe por um ralo para um compartimento interno da embarcação.

Essa água com óleo emulsificado passa por uma série de outros processos até virar uma água limpa que pode ser reaproveitada nos poços. O processo seguinte é a dos tanques de oxidação com ácido sulfúrico. E da mesma forma que para o tanque anterior, existe uma conexão entre os tanques para a transferência da água. Também temos um tanque de injeção de ácido sulfúrico, como pode ser visto na imagem a seguir.

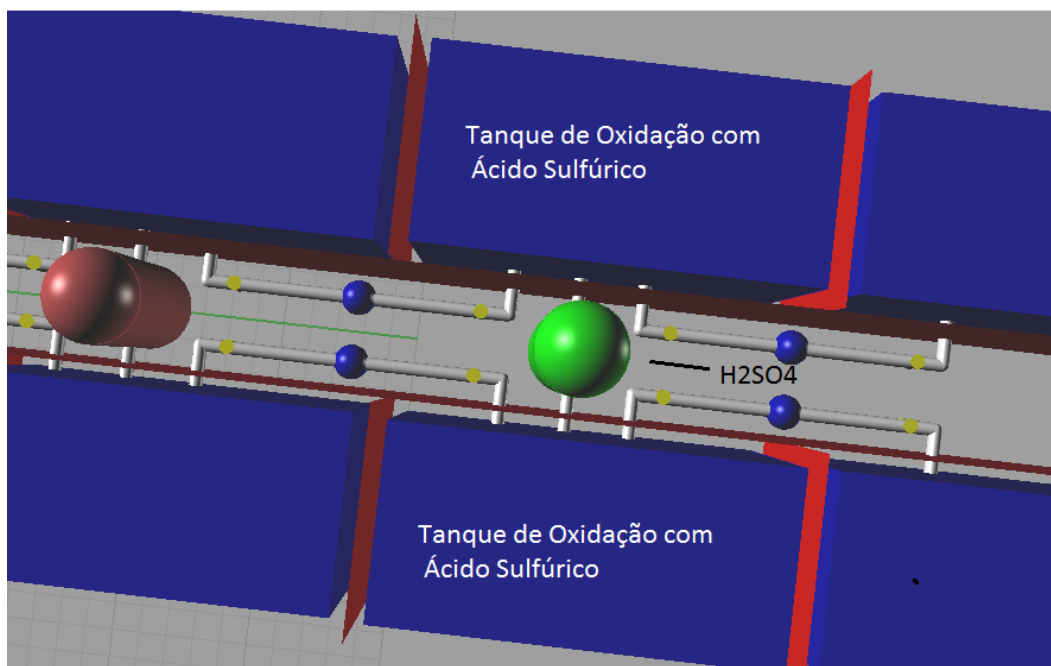
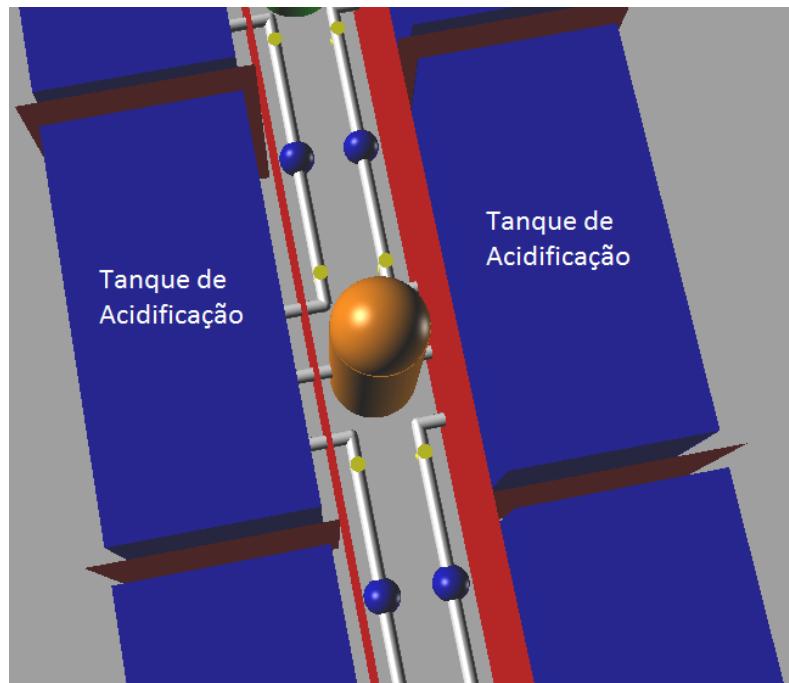


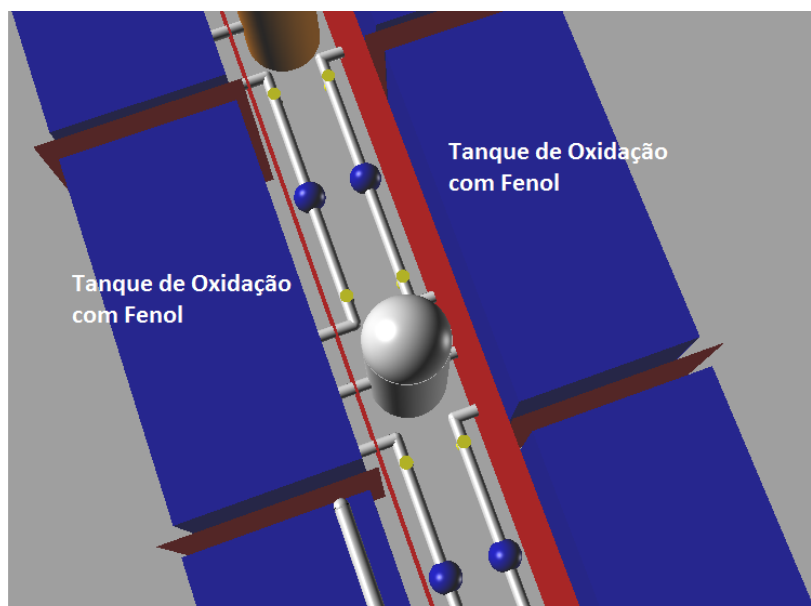
Figura 70 - Arranjo do Tanque de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e Tubulações Próximas

A etapa seguinte diz respeito ao processo de acidificação. Nessa etapa também existem tubulações, válvulas e bombas para a transferência entre tanques. Também existe um tanque com componente para a acidificação a ser injetado no interior do próximo tanque de concreto.



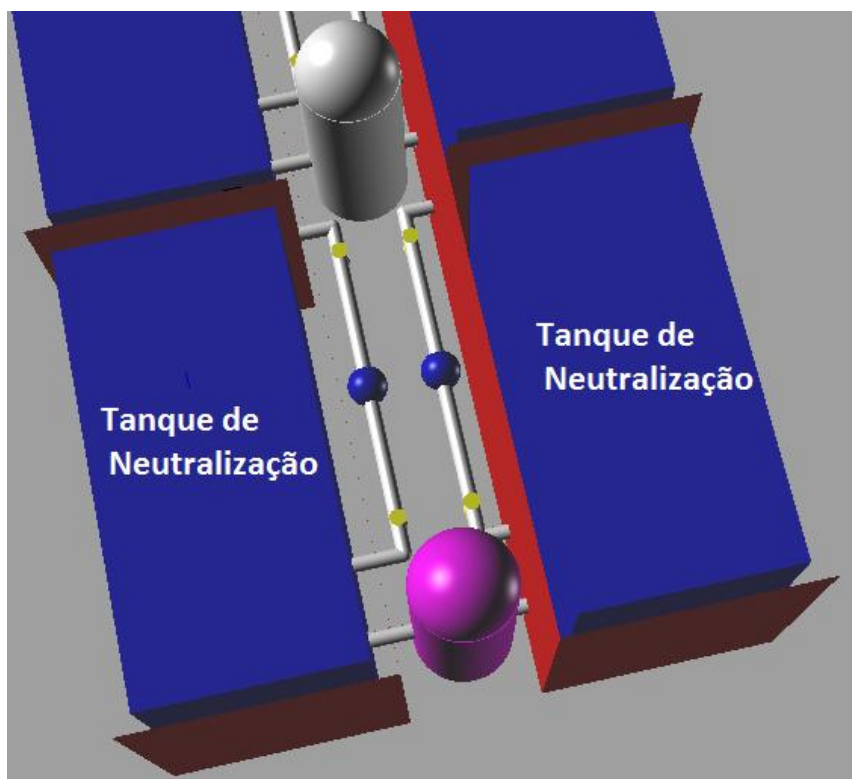
**Figura 71 - Arranjo do Tanque de Acidificação e Tubulações Próximas**

O passo seguinte é com a utilização do oxidante Fenol através do processo Fenton, que tem por objetivo destruir os componentes orgânicos remanescentes.



**Figura 72 - Arranjo do Tanque de Oxidação com Fenol e Tubulações Próximas**

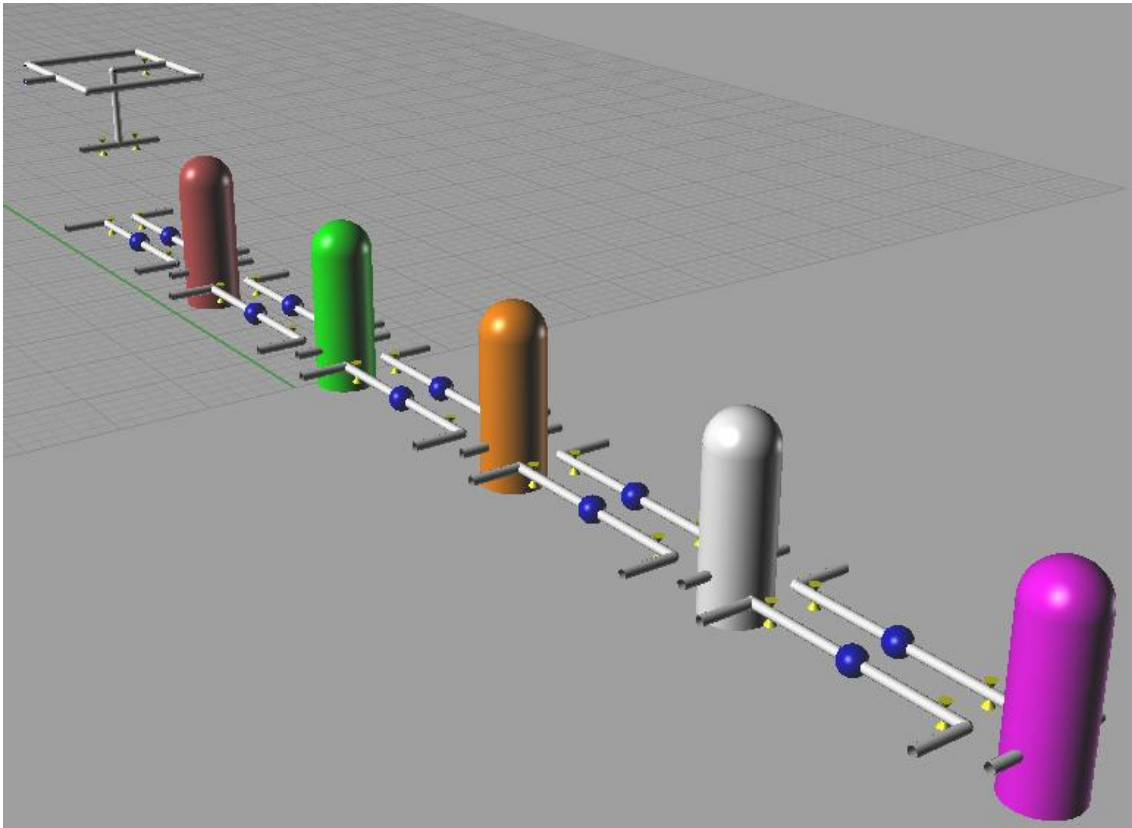
Finalmente, ocorre o processo de neutralização com NaOH para que a água possa ser retirada e reutilizada.



**Figura 73 - Arranjo do Tanque de Neutralização e Tubulações Próximas**

Após tratada, a água pode ser reinjetada no poço em caso da opção *offshore* ou então liberada no mar no caso da opção de se trabalhar próximo à costa.

Na imagem a seguir podemos ver o arranjo completo da tubulação e tanques internos instalados dentro da embarcação.



**Figura 74 - Arranjo do Sistema de Tratamento**

Devemos notar que os tanques que armazenam esses reagentes devem apresentar revestimento e material especial. Eles também devem possuir sistema de bombeamento automático da quantidade de reagente necessária, além de ventiladores e misturadores para manter a solução arejada e de maneira que não ocorra deposição no fundo.

### **6.2.1 Dimensionamento das Bombas**

As bombas a serem dimensionadas foram as bombas internas já que a água oleosa será enviada da embarcação ao Candiota utilizando as bombas presentes nessa embarcação. Conforme dito anteriormente, a tubulação escolhida é a de 18 polegadas (Diâmetro nominal), Schedule 40. Pelas tabelas da norma ANSI, o diâmetro interno é de 428,6 mm, a espessura é de 14,3 mm e a área da seção é de 1443,3 cm<sup>2</sup>. A perda de carga é dada por:

$$\Delta L = k \cdot Q^2$$

$$k = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2 \cdot g \cdot A^2}$$



O valor de “f” (fator de atrito) é obtido do *Ábaco de Moody*, sendo necessário calcular o número de Reynolds:

$$Rey = \frac{D \cdot V}{\vartheta}$$

Onde:

D é o diâmetro interno da tubulação;

V é a velocidade do fluido;

$\vartheta$  é a viscosidade cinemática;

A é a área da seção;

Q é a vazão;

g é a gravidade;

L é o comprimento do duto.

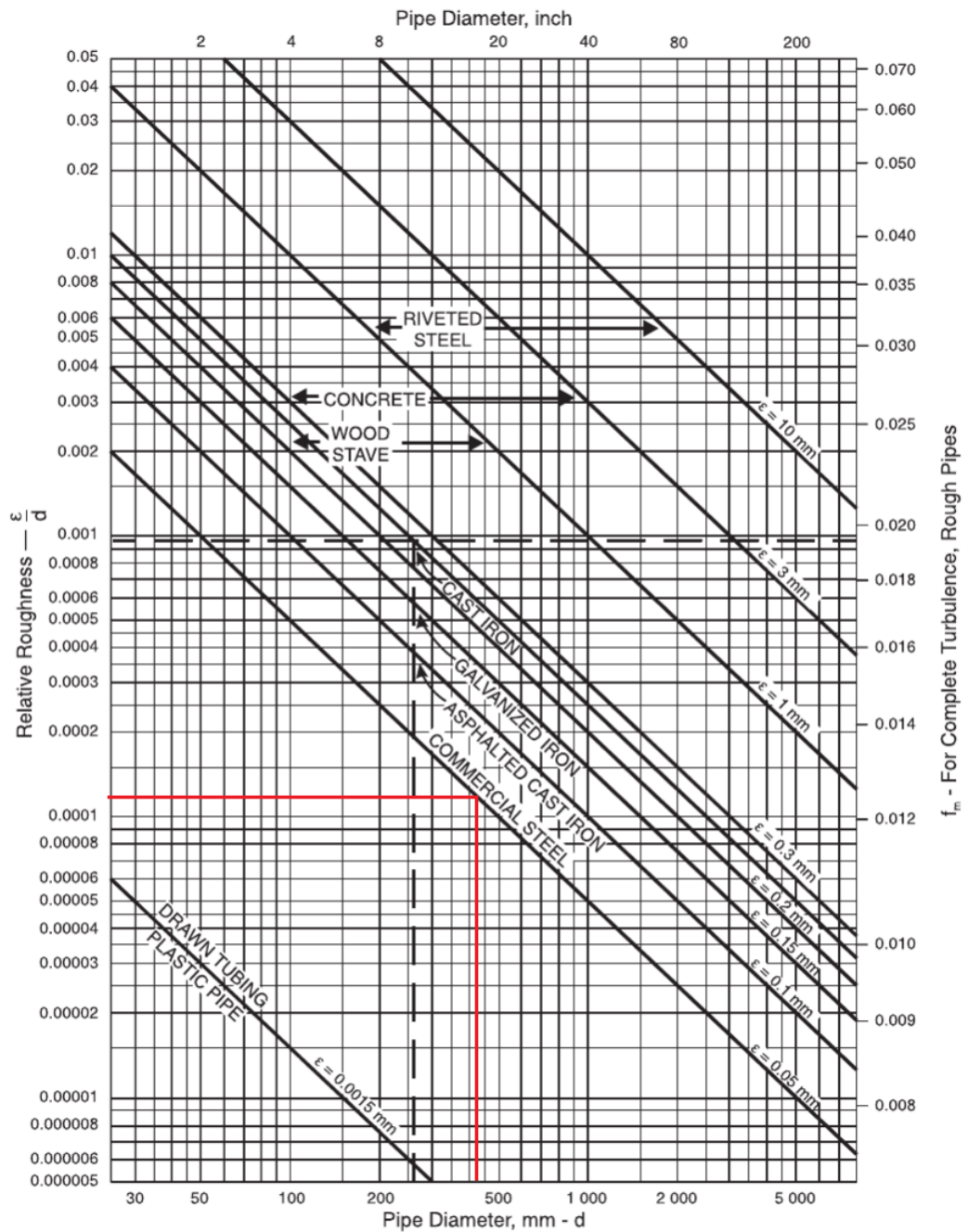
Então, temos:

$$Q = \frac{600m^3}{3600s} = 0,17m^3/s$$

$$V_{sistema} = \frac{Q}{A} = \frac{0,17}{0,14} = 1,2m/s$$

$$Rey = \frac{0,4286 \times 1,2}{4 \times 10^{-5}} = 1,3 \times 10^5$$

Utilizando o gráfico de rugosidade relativa, podemos determinar a relação (rugosidade/diâmetro):



Considerando que a tubulação é de aço, temos:

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,00012$$

Agora, podemos entrar no Ábaco de Moody para obtermos o valor do fator de atrito igual a 0,026.

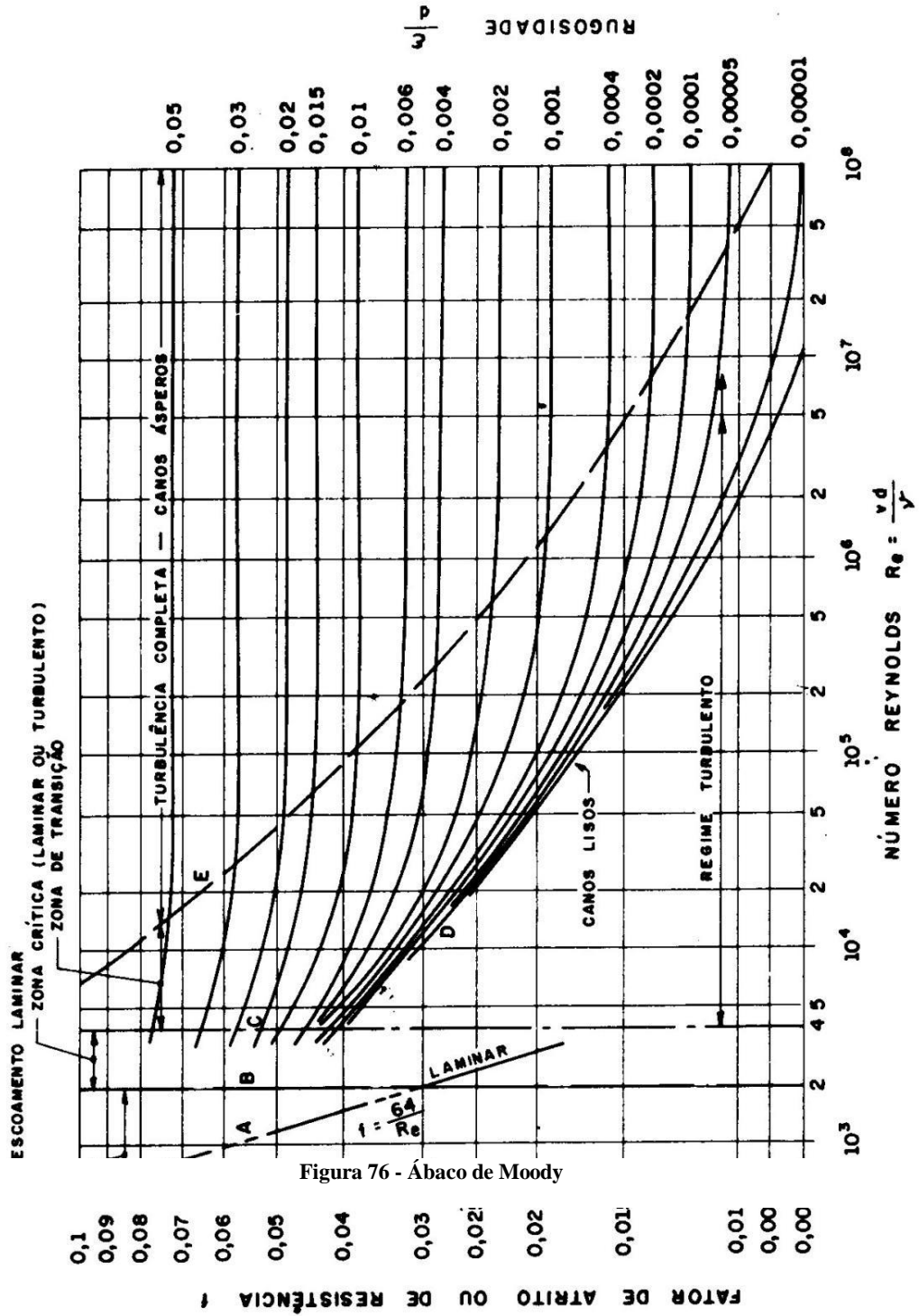


Figura 76 - Ábaco de Moody

Com os dados obtidos, temos:

$$k = 0,026 \cdot \frac{16,1}{0,4286} \cdot \frac{1}{2,9,81 \cdot (0,144)^2} = 2,4$$

$$\Delta L = 2,4 \times 0,42^2 = 0,42 \text{ m}$$

A carga do sistema é dada por:

$$\Delta H = \frac{p_{Navio} - p_{Candiota}}{\gamma} + Z_{Navio} - Z_{Candiota} + \frac{V_{Navio} - V_{Candiota}}{2g} + \Delta L$$

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\gamma} + \Delta Z + \frac{\Delta V}{2g} + \Delta L$$

A pressão no tanque do navio e a pressão no tanque do Candiota, considerada no ponto da superfície de controle, são iguais à pressão atmosférica, o que zera o primeiro termo. Também podemos considerar que a variação de velocidades se anula, já que na superfície líquida não há velocidades. Além disso, considera-se a vazão para a condição média e como os tanques estão no mesmo nível (o ponto considerado foi na metade da altura do tanque) o delta de altura também é zero. Dessa forma:

$$\Delta H = \Delta L$$

$$\Delta H = 0,42 \text{ metros}$$

A bomba selecionada que atende a vazão de 600 m<sup>3</sup>/h e a carga de 0,42m é a seguinte, retirada da referência [29].



#### Specifications

- Capacities to 3000 GPM (681 m<sup>3</sup>/h)
- Heads to 1000 feet (305 m)
- Temperatures to 350Å° F (177Å° C)
- Working Pressures to 550 PSIG (3792 kPa)
- 9 Sizes

**Figura 77 - Características da Bomba**

## 6.2.2 Validação Estrutural da Região da Planta de Tratamento

Com o posicionamento dos tanques de componentes químicos para o tratamento da água oleosa, resta saber se a estrutura do fundo é suficientemente resistente para aguentar ao peso dos mesmos carregados.

O diâmetro do maior tanque é de 5 metros e sua altura de 8,6 metros (dimensões máximas possíveis para o arranjo desenvolvido). Além disso, o componente mais pesado é o hidróxido de sódio ( $2,13 \text{ ton/m}^3$ ). O que resulta em um peso de 1439 toneladas.

Esse peso será aplicado no modelo descrito anteriormente, bem em cima dos nós das hastilhas que é o elemento em contato com o tanque. Os nós em contato são seis, dessa maneira a força aplicada será de 2352765 newton em cada nó e o resultado pode ser visto a seguir. Lembrando que essa análise leva em consideração se a tensão máxima de *Von Mises* de topo obtida no modelo é inferior à 80% da tensão de escoamento do aço (188 Mpa). É importante notar que os resultados estão em Pascal.

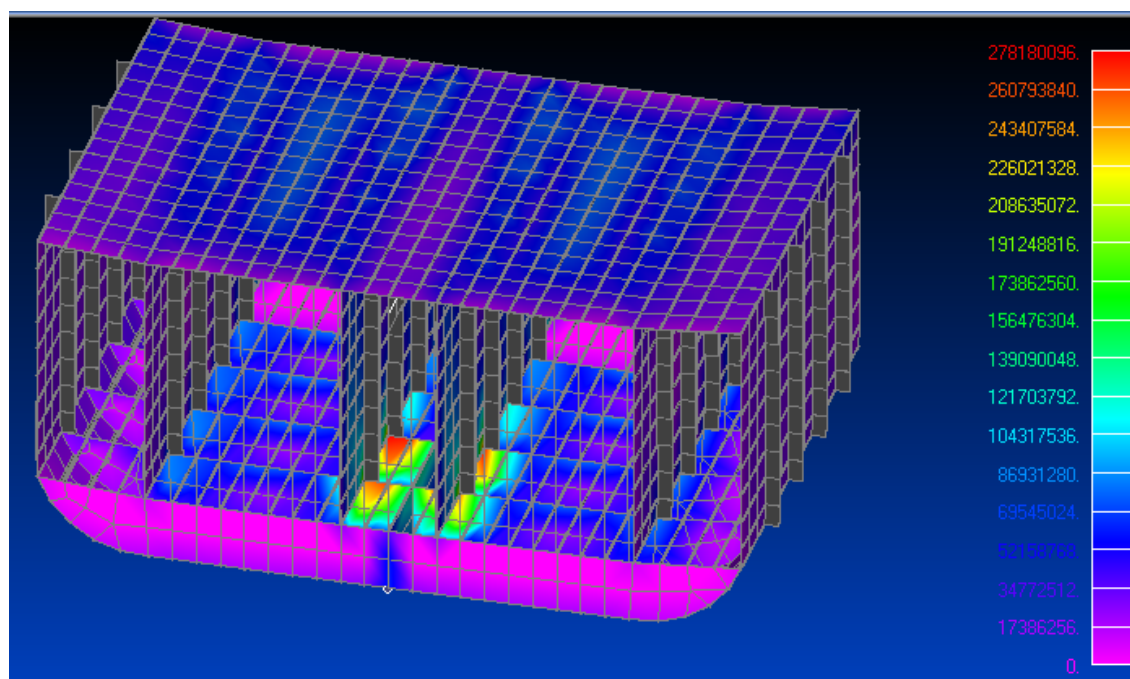
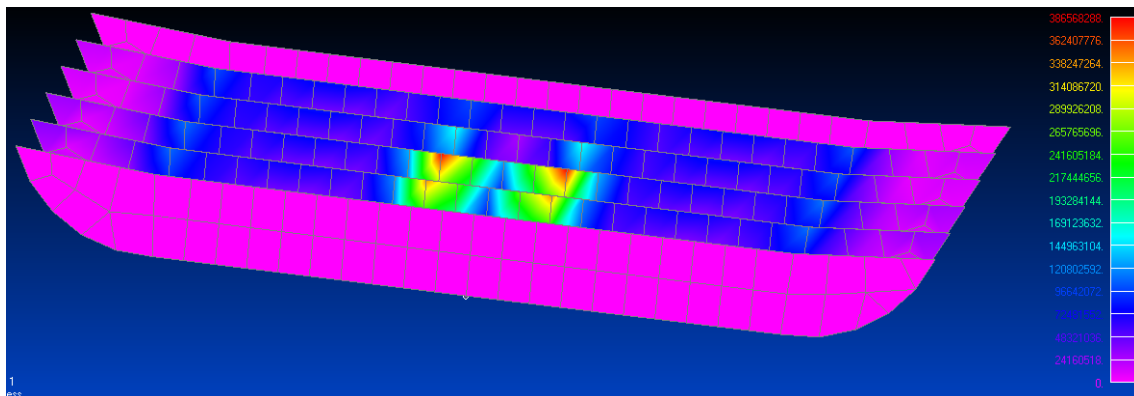


Figura 78 - Tensão Obtida no Modelo Devido ao Peso dos Produtos

As hastilhas foram os elementos que mais sofreram tensão, já que os tanques foram apoiados diretamente sobre elas. A tensão obtida no topo das hastilhas que suportaram o peso do tanque de maior carga foi de 386568288 Pascal, ou 386,57 Mpa Pascal. Essa

tensão encontra-se concentrada nas regiões em vermelho no topo das hastilhas e pode ser vista a seguir.

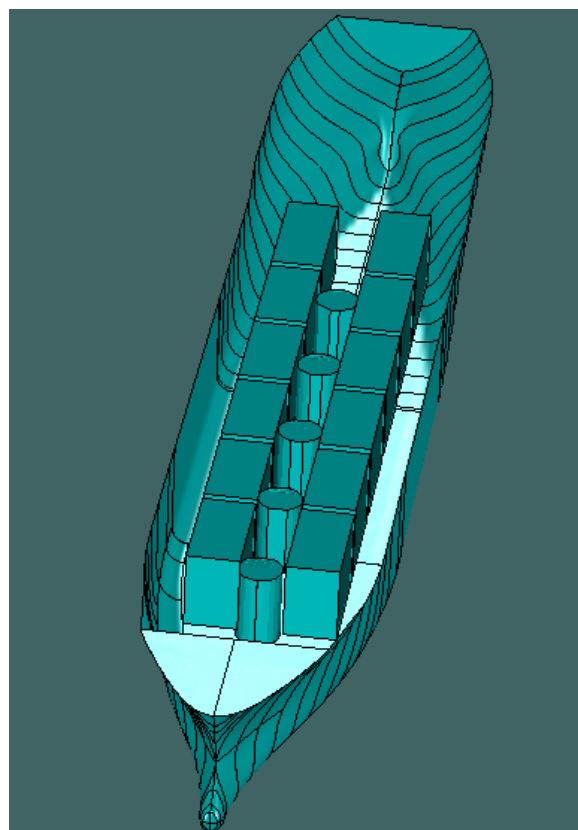


**Figura 79 - Tensão Obtida nas hastilhas Devido ao Peso dos Produtos**

Vemos que a estrutura não conseguiu suportar ao peso dos tanques, já que (368,57 MPa > 188 MPa). Dessa maneira um fundo duplo deve ser posicionado na região do corredor central.

### **6.2.3 Validação da Estabilidade considerando a planta de tratamento**

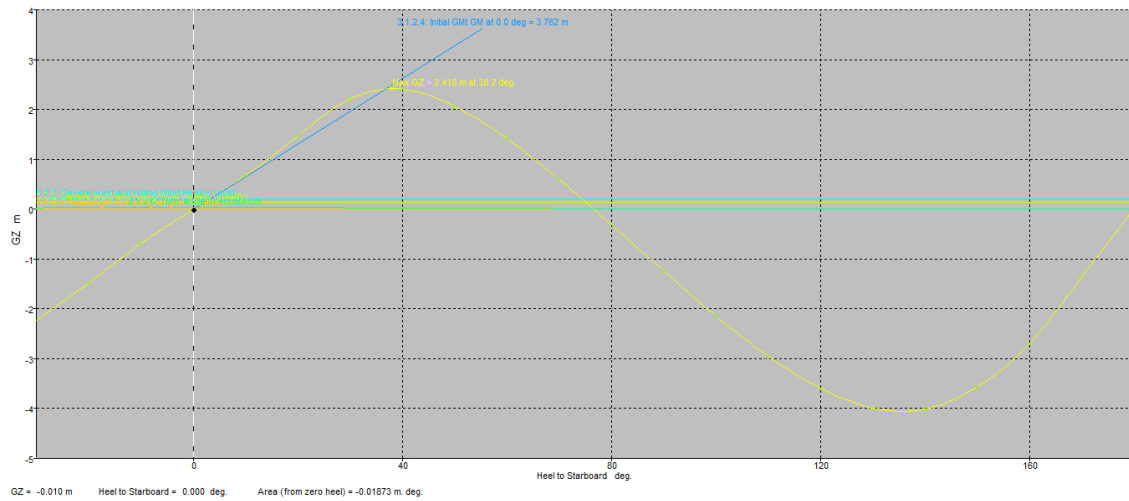
Agora foi feita a estabilidade da embarcação, considerando a presença os tanques de produtos.



**Figura 80 - Modelação dos Tanques de Produtos**

Os critérios são os mesmos utilizados em 5.5 e o resultado pode ser visto a seguir.

Condição de carregamento cheia (97% de volume nos tanques):

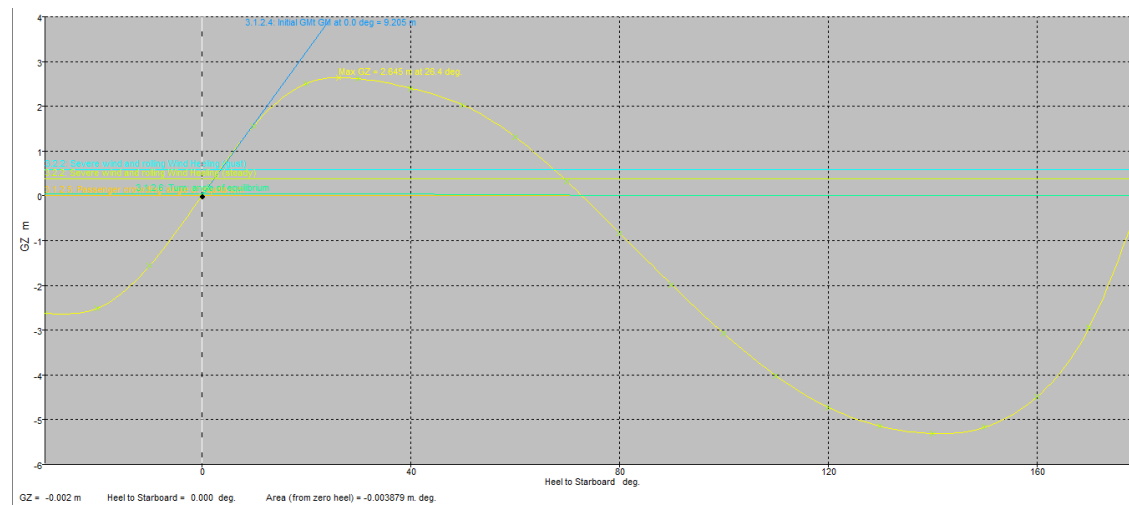


**Figura 81 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia**

	Requerida	Atual	Resultado
Area 0° a 30° (m.rad)	0.055	0.566	Passou
Area 0° a 40° (m.rad)	0.09	0.979	Passou
Area 30° a 40° (m.rad)	0.03	0.412	Passou
Max GZ a 30° (m)	0.2	2.418	Passou
Ângulo de GZ Max (°)	25	38.2	Passou
GM inicial (m)	0.15	3.762	Passou
Critério de Vento 1 (%)	100	289.022	Passou
Critério de Vento 2 (°)	16	2.3	Passou

**Figura 82 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia**

Condição de carregamento vazia (10% de volume nos tanques):



**Figura 83 - Curva de Estabilidade Estática para a Condição Cheia**

	Requerida	Atual	Resultado
Area 0° a 30° (m.rad)	0.055	0.965	Passou
Area 0° a 40° (m.rad)	0.09	1.406	Passou
Area 30° a 40° (m.rad)	0.03	0.44	Passou
Max GZ a 30° (m)	0.2	2.617	Passou
Ângulo de GZ Max (°)	25	26.4	Passou
GM inicial (m)	0.15	9.205	Passou
Critério de Vento 1 (%)	100	149.362	Passou
Critério de Vento 2 (°)	16	2.3	Passou

**Figura 84 - Resultados Obtidos para a Estabilidade na Condição Cheia**

Vemos que a embarcação obteve aprovação em todos os critérios para ambas as condições de carregamento, demonstrado que esses tanques de produtos químicos são possíveis.



## 7 PROPOSTA ALTERNATIVA DE CONVERSÃO

A concepção anterior foi realizada priorizando-se a segurança dos equipamentos que ficam protegidos ao serem colocados no interior da embarcação. Nessa primeira concepção, diversas alterações na estrutura original foram feitas, o que resulta em maiores gastos. Dentre esses gastos, podemos citar como exemplo os envolvidos com a redução da longarina central, a retirada das borboletas, o rearranjo das anteparas transversais que formavam os tanques já existentes, bem como a inserção de duas anteparas longitudinais formando um corredor interno. Também foi incluído um fundo duplo na região do corredor central.

Aqui cabe explorar melhorias que poderiam ser feitas. Dessa maneira, serão expostas duas concepções, uma mais simples e mais barata, utilizando ao máximo as características já existentes na embarcação. E uma segunda para ser utilizada como serviço aos diversos terminais da TRANSPETRO e que, portanto, deverá apresentar sistema propulsivo.

### 7.1 Navio Enquadrado no CONAMA 393

Essa ideia consiste em manter a embarcação o mais próxima possível do que ela é, de forma a obtermos uma concepção mais imediata, mais barata e que seja feita para atuar exclusivamente na região *offshore*. Então, poucas ou nenhuma alteração estrutural será feita, uma vez que o sistema de tratamento será colocado no convés da embarcação, o que resultará em menores gastos.

A seguir, podemos ver o arranjo interno do Navio.

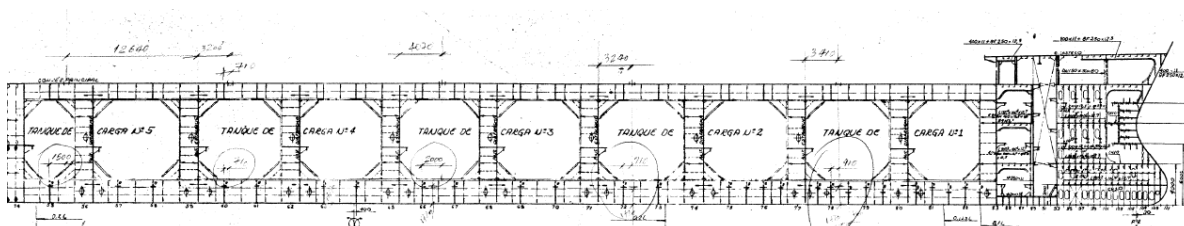
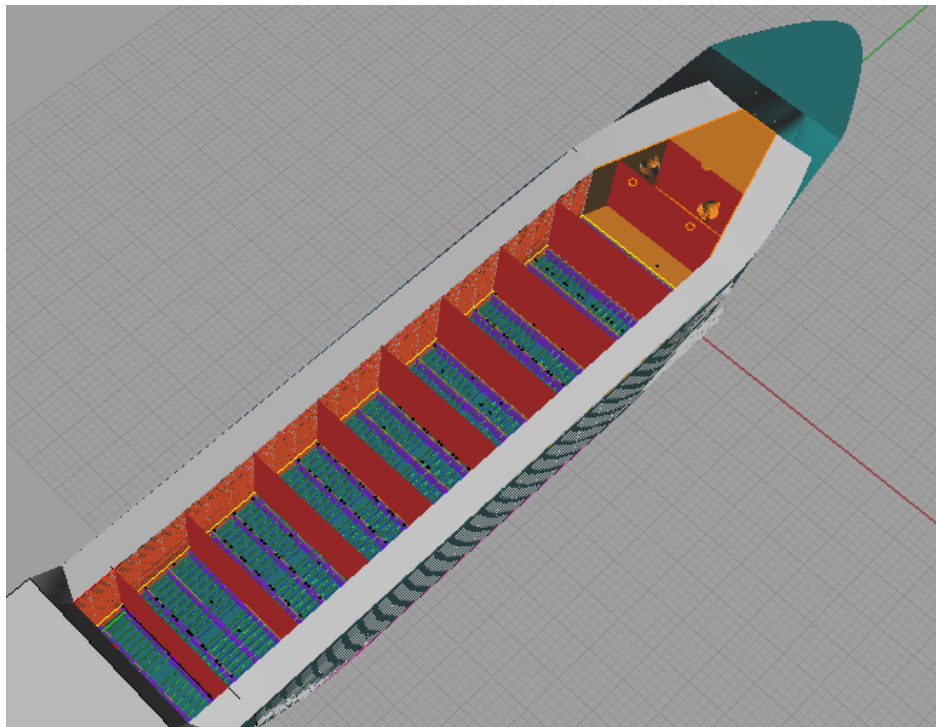


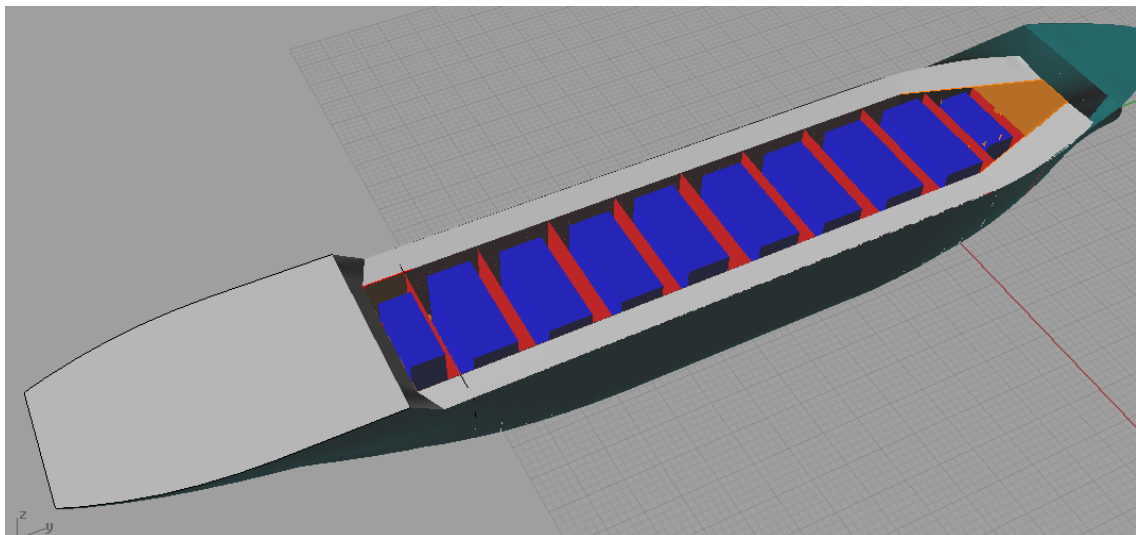
Figura 85 - Arranjo interno do candiota

E a sua modelação.



**Figura 86 - Modelação do Arranjo interno**

Então os tanques de concreto foram posicionados:



**Figura 87 - Tanques de Concreto Posicionados no Arranjo Original do Candiota**

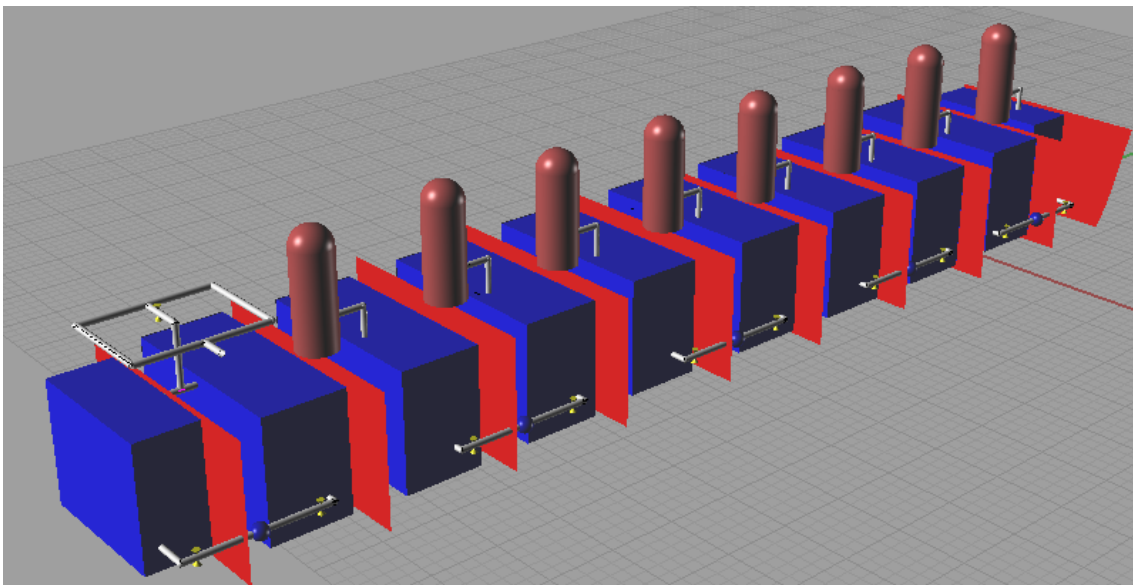
Foi observado que após o posicionamento dos tanques de concreto, o volume manteve-se praticamente o mesmo, bem como a quantidade de concreto. Isso acontece porque, praticamente, os tanques da concepção anterior foram virados 90°.

Devemos notar que a estrutura do fundo já está suficientemente reforçada uma vez que a concepção anterior, que utilizou a mesma estrutura no fundo, (sem contar com as borboletas presentes na atual concepção) apresentou resistência suficiente para a mesma quantidade de carga a ser aplicada sobre a estrutura desta concepção. A única mudança que deverá ser feita é o nivelamento da longarina central com as hastilhas para possibilitar o posicionamento dos tanques de concreto.

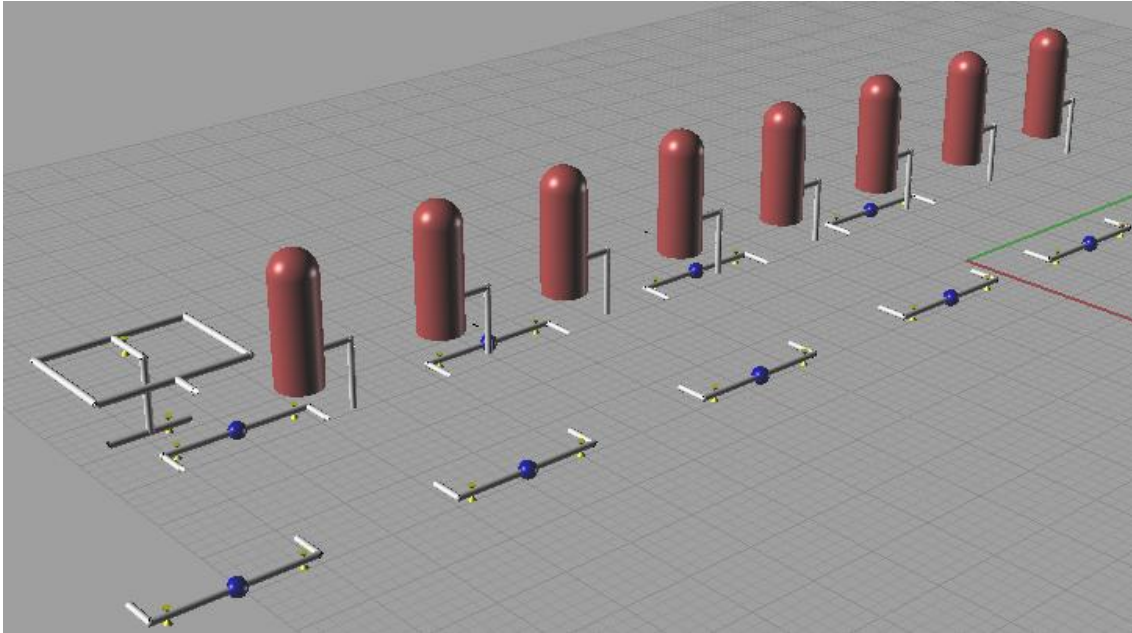
O dimensionamento das bombas pode ser mantido o mesmo, já que elas haviam sido escolhidas com uma margem de segurança e a altura dos tanques e características das tubulações foi mantida a mesma. Além disso, serão considerados tanques de mesmo volume em relação à concepção anterior, já que tanques maiores poderão resultar em problemas ao serem levantados pelos guindastes.

Além disso, por se tratar do CONAMA 393, o sistema empregado anteriormente não precisa ser repetido. Um sistema mais barato, composto apenas por flutuadores que fazem a separação do óleo e água, poderá ser colocado, barateando ainda mais o processo.

A seguir mostramos a imagem dessa concepção mais barata, em que os tanques de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizados durante o processo de flotação são posicionados no convés da embarcação, logo acima das anteparas transversais, para se evitar possíveis problemas estruturais.



**Figura 88 - Equipamento de Tratamento sobre o convés**



**Figura 89 - Arranjo do Sistema de Tratamento para a Nova Concepção**

A ideia é que com esse processo a água oleosa passe por todos os tanques, que estão conectados pelas tubulações, seja decantada e liberada ao mar ou reinjetada para um poço de reinjeção enquanto o óleo remanescente escoe por um ralo interno aos tanques para que seja armazenado dentro da embarcação.

## **7.2 Navio Peregrino Ecológico**

Essa segunda ideia visa aperfeiçoar o trabalho do navio caso ele seja alocado para trabalhar na região costeira. A ideia aqui seria colocar um sistema propulsivo com armazenamento de diesel na concepção abordada anteriormente, em que projetou-se o sistema de tratamento usado para atender ao CONAMA 430. Dessa maneira, a embarcação poderia ir migrando de terminal em terminal que precisasse de sua ajuda ao longo da costa, enquanto ia tratando a água durante a viagem.

A seguir podemos ter uma ideia dos locais por onde a embarcação poderia ir passando e tratando a água. Essa imagem foi retirada da referência [20] e adaptada.



Figura 90 - Trajeto Percorrido pela Embarcação na Costa

## 8 CONCLUSÃO

O projeto foi realizado sem contar com dados fidedignos sobre as quantidades de água produzidas tanto nas plataformas como nos terminais, desta forma o projeto foi realizado considerando um navio genérico e as quantidades adequadas à esta embarcação.

Após todas as etapas da conversão serem concluídas, podemos notar que, aparentemente, a conversão é viável e demonstra-se uma possibilidade para resolver o problema de tratamento da água produzida.

Duas possibilidades foram levantadas, a utilização de tanques de concreto ou tinta de revestimento, escolhendo-se a que preliminarmente demonstrou-se mais barata.

O estudo estrutural dos tanques foi realizado e comprovou-se a possibilidade de se colocar os tanques de concreto e o sistema de escoamento dos produtos incluindo o manifold. Além disso, a avaliação de estabilidade também foi satisfatória, mostrando que o arranjo escolhido para os tanques era viável.

Também foi feito o posicionamento e arranjo dos equipamentos de tratamento da água oleosa, demonstrando que o espaço no corredor intermediário era suficiente para colocar os tanques de produtos químicos e a tubulação para o transporte dos fluidos. Isso ao mesmo tempo em que se protegia o oceano da possível contaminação com esses reagentes químicos caso ocorra algum acidente.

Em seguida, foi feita a escolha e dimensionamento das bombas do sistema de tratamento com o devido cálculo da perda de carga e consequente posicionamento das mesmas na embarcação.

Além disso, foram feitas propostas de mudanças e melhorias da concepção desenvolvida preliminarmente. Isso com o objetivo de se ter uma embarcação que atenda da melhor maneira possível às necessidades de tratamento da água oleosa, de acordo com o contexto no qual essa embarcação deverá ser inserida.

Dessa maneira, podemos concluir que os objetivos foram plenamente alcançados através da proposta de conversão aqui elaborada.

## 9 AÇÕES FUTURAS

Como propostas para continuação do tema e aprofundamento do projeto, sugere-se fazer o projeto detalhado do dimensionamento e revestimento dos tanques de concreto, com o objetivo de se obter espessuras mais exatas e que possa resultar numa redução de material.

Além disso, fica a ideia de se projetar diversos outros sistemas de tratamento na embarcação, sempre buscando tecnologias inovadoras que resultem em maiores níveis de água tratada, mas sem esquecer do cunho econômico por trás de cada uma dessas novas ideias.

Definir os métodos de carga e descarga dos produtos utilizados no sistema de tratamento no caso da opção offshore, de preferência com tanques independentes.

Estudar a possibilidade e os custos envolvidos, inclusive de manutenção, ao se utilizar uma única bomba para todo o sistema de tratamento.

Fazer uma análise de estabilidade com os equipamentos posicionados por sobre o convés de maneira a saber se será necessária a utilização dos tanques de lastro, bem como quais e em qual quantidade devem ser usados.

Fazer um estudo dos tanques e possíveis revestimentos devido ao caráter corrosivo dos produtos utilizados no tratamento.

Finalmente, também é válido fazer um estudo de outros tanques, compostos por materiais diferentes a fim de se encontrar uma solução melhor e cada vez mais econômica.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério do Meio Ambiente, CONAMA, Resolução N° 430, de 13 de Maio de 2011, Brasil.
- [2] Gomes, E.A., **Tratamento Combinado da Água Produzida de Petróleo por Eletroflotação e Processo Fenton**, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos, Universidade de Tiradentes, Aracaju, SE, Brasil, 2009.
- [3] Dores, R., Hussain, A., Katebah, M., Adham, S., **Using Advanced Water Treatment Technologies To Treat Produced Water From The Petroleum Industry**, SPE International Production and Operations Conference – Global Water Sustainability Center, Doha, Qatar, 2012.
- [4] Santiago, V, Souza, R., Versiani, B., Cerqueira, A., Rodrigues, F., Almeida, J., Torres, A.P., Avelar, J., Mansor, L., **Biological Nitrogen Removal of High Salinity Produced Water in Sequencing Batch Reactors**, Conferência Weftec, 2008.
- [5] Det Norske Veritas (DNV) Rule - **HULL STRUCTURAL DESIGN, SHIPS WITH LENGTH 100 METRES AND ABOVE**, Janeiro 2011.
- [6] Det Norske Veritas (DNV) Rule - **STRENGTH ANALYSIS OF HULL STRUCTURES IN TANKERS**, Classification Notes N. 31.3; Janeiro1999.
- [7] Rosa, J. J., **Desenvolvimento de Um Novo Processo de Tratamento de Águas Oleosas - Processo FF**, Prêmio Jovem Cientista, Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM)-DEMIN-PPGEM-UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2003.
- [8] Rocha, J., Gomes, M., Fernandes, N., Silva, D., Huitle, C., **Application of Electrochemical Oxidation as Alternative Treatment of Produced Water Generated by Brazilian Petrochemical Industry**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CCET- Instituto de Química, Lagoa Nova, RN, Brazil, 2012.
- [9] Mang Lu, Zhongzhi Zhang, Weiyu Yu, Wei Zhu, **Biological Treatment of Oilfield-Produced Water: A field Pilot Study**, Petroleum Survey, Design & Research Institute, Shengli Oilfield, Dongying, Shandong Province, China, 2009.



- [10] Campos, J.C., Borges, R.M.H., Oliveira Filho, A.M., Nobrega, R., Sant'Anna Jr., G.L., **Oilfield Wastewater Treatment by Combined Microfiltration and Biological Processes**, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.
- [11] Ministério do Meio Ambiente, CONAMA, Resolução N° 393, de 8 de Agosto de 2007, Brasil.
- [12] Leite, J. C. A., Vilar, E. O., Cavalcanti, E. B., Sales Filho, I. O., **Aplicação da Eletroflotação para Remoção de Óleo Emulsionado em Águas de Produção de Campos de Petróleo**, 4o PDPETRO, Campinas, SP, 2007.
- [13] Gabardo, I.T., **Caracterização Química e Toxicológica da Água Produzida Descartada em Plataformas de Óleo e Gás na Costa Brasileira e Seu Comportamento Dispersivo no Mar**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, 2007.
- [14] Vlasopoulos N., Memon F.A., Butler D., Murphy R., **Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Technologies Treating Petroleum Process Waters**, Imperial College e University of Exeter, Inglaterra, 2006.
- [15] Ahmadun, F.R., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., BiakD. R. A., Madaeni S. S., Abidin, Z. Z. **Review of Technologies for Oil and Gas Produced Water Treatment**, Journal of Hazardous Materials , Elsevier, 2009.
- [16] Carvalho, P.C.A.P., **Caracterização de Água Produzida na Indústria de Petróleo para Fins de Descarte e Otimização do Processo de Separação Óleo/Água**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal, RN, 2011.
- [17] Cha, Z., Lin, C.F., Cheng, C.J., Hong, P.K.A., **Removal of Oil and Oil Sheen From Produced Water by Pressure-Assisted Ozonation and Sand Filtration**, Chemosphere, Elsevier, 2009.
- [18] Li, G., Guo, S., Li, F., **Treatment of oilfield produced water by anaerobic process coupled with micro-electrolysis**, Journal of Environmental Sciences, 2010.

Sites:

[19][http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/LeonardoMitidie roPETROBRAS\\_RemocaBoro\\_Mar09.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/LeonardoMitidie%20roPETROBRAS_RemocaBoro_Mar09.pdf)

[20] <http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/principais-operacoes/>

[21] <http://www.onip.org.br/noticias/sintese/vazamento-da-petrobras-2/>.

[22]<http://spanish.alibaba.com/product-gs/solid-control-system-and-solid-control-equipments-for-mud-circulation-528974439.html>.

[23]<http://www.bolland.com.ar/br/tratamento-de-agua-petroleo-e-efluentes/separadores-de-liquidos-gases-e-solidos.html>.

[24]<http://www.vlc.ind.br/hidrociclones/>.

[25] <http://www.ecomagination.com/portfolio/zee-weed-membrane-technology>.

[26]<http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2010/04/27/rio-nave-construira-cinco-navios-do-promef/>.

[27] <http://www.oilmax.in/services.htm>

[28] [http://www.sistrut.com.br/Profissionais/thm\\_PINI.html](http://www.sistrut.com.br/Profissionais/thm_PINI.html)

[29][http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/3316/Goulds\\_3316\\_bulletin.pdf?ext=.pdf](http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/3316/Goulds_3316_bulletin.pdf?ext=.pdf)