



CONVERSÃO DE PLATAFORMAS SEMISSUBMERSÍVEIS EM BASES-RADAR.

Bruno Assis de Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientadores: Murilo Augusto Vaz
Marcelo Caire

Rio de Janeiro
Março de 2025

CONVERSÃO DE PLATAFORMAS SEMISSUBMERSÍVEIS EM BASES-RADAR.

Bruno Assis de Lima

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Orientadores: Murilo Augusto Vaz
Marcelo Caire

Aprovada por: Prof. Gilberto Bruno Ellwanger
Prof. Paulo Mauricio Videiro

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2025

Assis de Lima, Bruno

CONVERSÃO DE PLATAFORMAS
SEMISSUBMERSÍVEIS EM BASES-RADAR./Bruno

Assis de Lima. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XVI, 97 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Murilo Augusto Vaz

Marcelo Caire

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de
Engenharia Oceânica, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 93 – 97.

1. Conversão de Plataformas Semissubmersíveis.
 2. Capacidade Última.
 3. Modelagem Numérica.
- I. Augusto Vaz, Murilo *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica.
III. Título.

Frase Dedicatória

*À minha família, em especial aos meus Pais
e à minha amada filha Julia, fonte inesgotável de
amor, inspiração e motivação em minha jornada.*

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me concedeu vida, saúde e força para superar os desafios e concluir este trabalho. Expresso minha profunda gratidão aos Professores Murilo Augusto Vaz e Marcelo Caire, pelas valiosas orientações, pela paciência e compreensão ao longo deste percurso acadêmico. Sua amizade e apoio tornaram o desenvolvimento deste trabalho uma experiência enriquecedora e motivadora.

Expresso minha gratidão à Marinha do Brasil pelo suporte, pela confiança e oportunidade de realizar este curso, permitindo-me aprimorar conhecimentos e contribuir ainda mais para a instituição. Ao meu amigo, Dr. Victor Daniel Zegarra Torres, minha sincera apreciação por sua generosidade em compartilhar seu conhecimento e tempo, mesmo diante dos compromissos de sua própria pesquisa, contribuindo significativamente para o esclarecimento de inúmeras dúvidas.

À secretária Eliene Barreto e a toda a equipe e colegas do Núcleo de Estruturas Oceânicas (NEO), agradeço pela amizade, pelo convívio diário e pelo ambiente colaborativo que fizeram parte desta jornada. Manifesto, também, meu reconhecimento e apreço ao Contra-Almirante (EN) Delgado, ao Capitão de Fragata (EN) Kampffe e ao Capitão de Corveta (EN) Dalapé, cujos incentivos, apoio e contribuições foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado nesta caminhada, o meu muito obrigado.

"O tempo passa"
Marcelo Caire.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONVERSÃO DE PLATAFORMAS SEMISSUBMERSÍVEIS EM BASES-RADAR.

Bruno Assis de Lima

Março/2025

Orientadores: Murilo Augusto Vaz
Marcelo Caire

Programa: Engenharia Oceânica

Este trabalho apresenta uma proposta de reutilização de ativos offshore como alternativa estratégica para a Marinha do Brasil, com o objetivo de fomentar a implementação de programas específicos de monitoramento da costa brasileira. Para embasar essa proposta, foram analisados modelos similares de estruturas offshore já implementados por marinhas de outros países para diferentes finalidades. A conversão de plataformas offshore descomissionadas em bases navais flutuantes surge como uma proposta para ampliação da capacidade operacional da Marinha, aproveitando infraestruturas já existentes.

O estudo concentra-se na viabilidade técnica e estrutural da conversão de plataformas semissubmersíveis, utilizando modelagens computacionais baseadas no Método dos Elementos Finitos (FEM) para avaliar o comportamento estrutural da plataforma sob diferentes cenários de degradação por corrosão e desgaste dos materiais (perda de espessura de 10%, 15% e 20%). A análise é realizada no modelo local da estrutura do *pontoon* da plataforma, considerando critérios normativos estabelecidos por sociedades classificadoras para aceitação de perdas estruturais e estratégias de reforço, como a substituição de chapas.

Os resultados obtidos indicam que, com os devidos ajustes estruturais, a seleção para conversão dessas plataformas é tecnicamente viável, de modo que sejam atendidos os critérios apresentados neste estudo. Deste modo, destaca-se a importância da avaliação de todos os critérios abordados por este estudo de maneira a viabilizar o projeto, reduzindo custos e contribuindo para a defesa e a soberania marítima do Brasil.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

CONVERSION OF SEMISUBMERSIBLE PLATFORMS INTO RADAR BASES.

Bruno Assis de Lima

March/2025

Advisors: Murilo Augusto Vaz

Marcelo Caire

Department: Ocean Engineering

This study presents a proposal for the reutilization of offshore assets as a strategic alternative for the Brazilian Navy, aiming to promote the implementation of specific coastal monitoring programs. To support this proposal, similar offshore structure models already implemented by other countries' navies for various purposes were analyzed. The conversion of decommissioned offshore platforms into floating naval bases emerges as a strategy to expand the Navy's operational capacity by leveraging existing infrastructure.

The study focuses on the technical and structural feasibility of converting semi-submersible platforms, employing computational modeling based on the Finite Element Method (FEM) to assess the structural behavior of the platform under different degradation scenarios due to corrosion and material aging (thickness loss of 10%, 15%, and 20%). The analysis is conducted on the local model of the platform's *pontoon* structure, considering regulatory criteria established by classification societies for the acceptance of structural losses and reinforcement strategies, such as plate replacement.

The results obtained indicate that, with the necessary structural adjustments, selecting these platforms for conversion is technically feasible, provided that the criteria presented in this study are met. Thus, the importance of evaluating all the criteria addressed in this study is emphasized to make the project viable, reduce costs, and contribute to Brazil's maritime defense and sovereignty.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Símbolos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Motivação	4
1.2 Objetivo do Trabalho	7
1.3 Organização do Estudo	9
2 Revisão Bibliográfica	10
2.1 Forte Naval Maunsell e Forte Knock John	10
2.2 Programa Texas Towers	11
2.3 Sharifah Roziah	14
2.4 Odyssey	15
2.5 SBX-1	16
2.6 Plataforma Móvel de Defesa E Depósito (MODEP)	18
2.7 Principais Conceitos	19
2.8 Fundamentos Teóricos	19
3 Metodologia para Seleção da Plataforma	21
3.1 Viabilidade para Conversão	22
3.2 Seleção da Plataforma	24
3.2.1 Etapa-1: Identificação e Exclusão Inicial	24
3.2.2 Etapa-2: Peso Leve da Embarcação	25
3.2.3 Etapa-3: Dimensões Principais e Estabilidade	25
3.2.4 Etapa-4: Tecnologia de Construção	26
3.2.5 Etapa-5: Projeto Preliminar	26
3.3 Critérios de Avaliação	27
3.3.1 Área do Convés e Capacidade de Carga	27
3.3.2 Calado de Operação	27

3.4	Vida Residual	28
3.4.1	Vida Residual Devido a Fadiga	28
3.4.2	Vida Residual Devido a Corrosão	30
3.5	Escolha da Plataforma	31
3.5.1	Justificativa da Escolha	32
3.6	Estimativa de Custos	37
4	Análise Estrutural	40
4.1	Carregamento Hidrostático	44
4.1.1	Pressões Oriundas do Mar	44
4.1.2	Pressões dos Tanques	46
4.2	Modelo Numérico	47
4.2.1	Método dos Elementos Finitos	47
4.2.2	Modelagem do Pontoon	48
4.3	Material Utilizado na Avaliação	51
4.4	Carregamento e Condições de Contorno	52
4.5	Discretização do Modelo	54
5	Estudo de Caso	56
5.1	Definição dos Carregamentos	57
5.2	Modelo Submetido a Pressão Externa	60
5.2.1	Modelo Padrão (STANDARD)	60
5.2.2	Perda de Espessura de 10%	61
5.2.3	Perda de Espessura de 15%	62
5.2.4	Perda de Espessura de 20%	63
5.3	Modelo Submetido à Pressão Externa e Pressão Interna no Tanque	64
5.3.1	Modelo Padrão (STANDARD)	65
5.3.2	Perda de espessura 10%.	65
5.3.3	Perda de Espessura 15%	66
5.3.4	Perda de Espessura 20%.	67
5.4	Avaliação da Resistência Última da Estrutura Local Para as Condições Standard e com Perdas de Espessura.	68
5.5	Modelo Submetido à Pressão Hidrostática e Carregamento Último	69
5.5.1	Análise Realizada para o Modelo com Tanques Vazios Submetidos à Flexão.	69
5.5.2	Modelo Padrão (STANDARD)	69
5.5.3	Perda de Espessura de 10%.	70
5.5.4	Perda de Espessura 15%	71
5.5.5	Perda de Espessura 20%	72

5.6	Modelo com Tanque Vazio e Tanque Cheio, Submetido a Carregamento	
	Último	74
5.6.1	Modelo Padrão STANDARD	74
5.6.2	Perda de Espessura 10%.	75
5.6.3	Perda de espessura 15%.	76
5.6.4	Perda de espessura 20%.	78
5.7	Proposta de Reparo para Mitigação da Perda de Espessura	79
5.8	Análise de Casos Propostos para Reparo	80
5.8.1	Reparo Proposto para o CASO ID-2.3	81
5.8.2	Reparo Proposto para o CASO ID-2.5	82
5.8.3	Reparo Proposto para o CASO ID-2.7	84
5.9	Resultados e Discussões	86
6	Conclusão	90
6.1	Trabalhos Futuros	91
	Referências Bibliográficas	93

Lista de Figuras

1	Apresenta a evolução das estruturas offshore (Fonte: www.opetroleo.com.br).	1
2	Semissubmersível de perfuração. Fonte:(www.offshore-channel.com) . . .	4
3	Fragata Constituição realizando patrulhamento no campo de Marlim, Fonte: MARINHA em revista No40.	5
4	Desenvolvimento nacional de programas de tecnologia e defesa.Fonte: Poder Naval (www.podernaival.com.br).	6
5	Amazônia Azul com arranjo preliminar da atuação do programa SISGAAZ a partir de bases radares flutuantes. Fonte: www.SISGAAZ-MB.org	7
6	Conceito de base radar flutuante operando na costa brasileira, imagem gerada por inteligência artificial (IA). Fonte: https://www.canva.com/pt-br/gerador-imagem-ia/	9
7	Estruturas offshore utilizadas durante o período da Segunda Guerra Mundial que perduram até os dias atuais da esquerda para direita Forte Knock e Fortes Maunsell. Fonte: https://www.warhistoryonline.com/	11
8	Estruturas offshore utilizadas durante o período denominado de Guerra Fria.Fonte: https://njmaritimemuseum.org/events/presentations/doomed-tower-texas-sea/	12
9	Mapa com arranjo estratégico das torres ao longo do trecho norte da costa leste Norte-Americana. Fonte: https://www.radomes.org/museum/documents/TexasTower.html .	13
10	Plataforma Sharifah Roziah em operação na costa da Malasia. Fonte: https://www.mafhq.mil.my/index.php/en/	15
11	Cosmódromo russo, projeto de parceria público-privado, cujo a estrutura é oriunda da plataforma Odyssey. Fonte: https://ckb-rubin.ru/	16
12	Conversão de plataforma semissubmersível em Base Radar, SBX USNAVY. Fonte: https://missiledefenseadvocacy.org/	17
13	Modelos conceituais de plataformas convertidas em bases navais offshore. Fonte: https://www.navalnews.com/	18
14	Fluxograma de etapas do projeto	23

15	Calado de operação e air gap [24].	28
16	Combinação de componentes.	43
17	O lastro nas extremidades maximiza o momento de aquebramento (<i>hogging</i>), enquanto o lastro central intensifica o momento de tosamento (<i>sagging</i>).	44
18	Parâmetros adotados para cálculo da pressão do mar [47].	46
19	Parâmetros de pressões dos tanques aplicados em plataforma S.S [48]. . .	47
20	As partes constituintes de uma modelagem típica de FEM [44].	48
21	Modelo computacional da estrutura CFEM-TH 2800	49
22	Seção Longitudinal do <i>Pontoon</i> S.S série CFEM-TH 2800	50
23	Seção Transversal <i>Pontoon</i> S.S série CFEM-TH 2800	50
24	Modelo local gerado para análise.	51
25	Material elástico-perfeitamente plástico.	52
26	A figura apresenta as condições de contorno aplicadas aos pontos de referência pelos acoplamentos rígidos.	54
27	Malha do modelo local.	55
28	Pressão hidrostática aplicada no modelo local.	57
29	Pressão hidrostática externa e interna aplicadas no modelo.	58
30	Caso ID-1.0, Modelo standard submetido a pressão externa, com tanques vazios.	61
31	Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.2. .	62
32	Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.4. .	63
33	Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 20% – Caso ID-1.6. .	64
34	Caso ID-1.1 Modelo standard submetido a pressão externa, com tanque completamente cheio.	65
35	Caso ID-1.3 Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 10% – Caso ID-1.3.	66
36	Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.5. . .	67
37	Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 20% – Caso ID-1.7. . .	68
38	Gráfico correspondente ao modelo submetido a pressão hidrostática e momento último.	69
39	Figura 38: (a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 3,17E+04 1/m; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.0.	70
40	(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 3,30E+04 1/m; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.2.	71
41	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 3,30E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.4.	72

42	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 3,36E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.6.	73
43	Gráfico correspondente ao modelo submetido a pressão hidrostática, pressão interna e momento último.	74
44	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 3,26E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.1.	75
45	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 2,97E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.3.	76
46	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 2,97E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.5.	77
47	Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de 2,99E+04 1/m.; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.7.	79
48	Caso ID-2.0 verificações pontuais do comportamento estrutural.	81
49	Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.3.	81
50	Resultados Pré e Pós reparo referente ao Caso ID-2.3.	82
51	Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.5.	83
52	Resultados Pré e Pós reparo referente ao Caso ID-2.5.	84
53	Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.7.	85
54	Resultados Pré e Pós reparo referente ao Caso ID-2.7.	86
55	Comportamento estrutural conforme os pontos de análise localizados na antepara e flange.	87
56	Gráfico de Distribuição de Tensão em Função da Coluna D'Água nos Pontos de Análise da Antepara e do Flange.	88

Lista de Tabelas

3.1	Plataformas S.Ss reunidas para seleção	32
3.2	Critérios Estruturais (Peso 40%)	33
3.3	Critérios Operacionais (Peso 40%)	34
3.4	Critérios Econômicos (Peso 20%)	34
3.5	Avaliação de Plataformas Candidatas	36
3.6	Características principais plataforma S.S.	37
4.1	Propriedades do material usado no modelo da estrutura local do <i>pontoon</i>	52
5.1	Identificação (ID) de Casos	60

Lista de Símbolos

δ_{ij} Delta de Kronecker

ϵ Deformação do material

ϵ^e Deformação na faixa elástica

ϵ^p Deformação na faixa plástica

E_S Módulo de Young secante

E_T Módulo de Young tangente

J_2, J_3 Segundo e terceiro invariantes

Λ Coeficiente de proporcionalidade

λ Comprimento da onda

n Parâmetro de ajuste da função de aproximação, pela Lei de Potência ou Ramberg-Osgood

ν Coeficiente de Poisson

ϕ Ângulo formado pelas linhas descritas por $\partial\sigma$ e $\partial\epsilon^p$

ψ Ângulo formado pelas linhas descritas por $(\sigma_o - \sigma^*)$ e ϵ^p

S Tensor desviador

σ_{eq} Tensão equivalente

σ_{ij} Tensões nas direções radial, axial e circunferencial

σ_y Tensão de escoamento

σ_0 Parâmetro de ajuste para a expressão de Ramberg-Osgood

Capítulo 1

Introdução

A indústria de petróleo offshore tem se expandido ao longo dos anos, e as estruturas oceânicas tem apresentado decorrentes evoluções em função do constante desafio no que tange a produção e exploração de petróleo em alto mar. De acordo com Speight [1], em decorrência desse crescimento, são desenvolvidos por empresas petrolíferas, fabricantes, empreiteiros e empresas de serviços as quais por meio de programas de pesquisa buscam constantemente aprimorar este processo, com significativos avanços tecnológicos de perfuração e produção em profundidades superiores a 3000 m, a Figura 1 apresenta a evolução destas estruturas offshore.

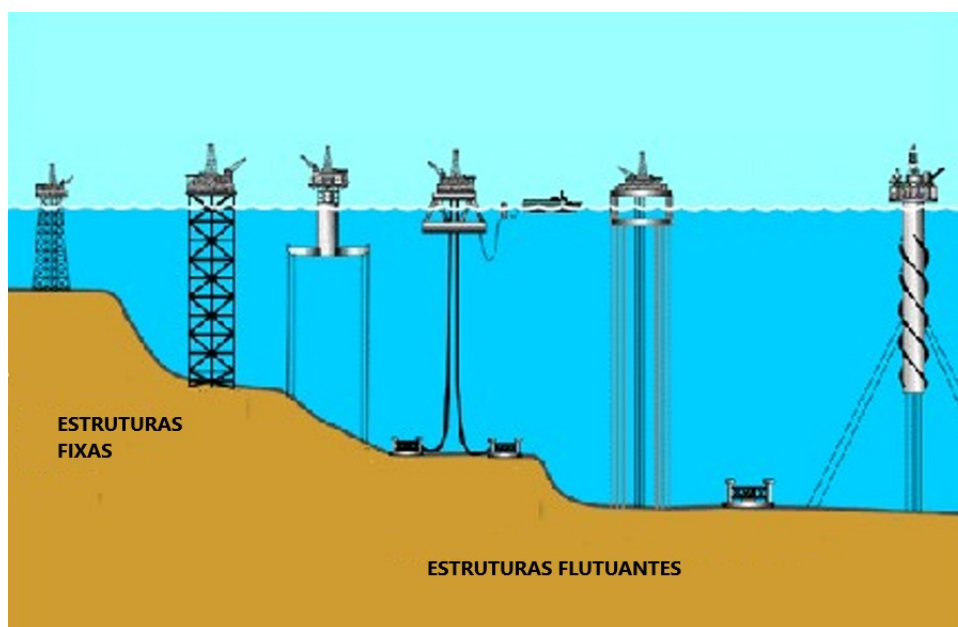


Figura 1: Apresenta a evolução das estruturas offshore (Fonte: www.opetroleo.com.br).

Ao longo do tempo a indústria offshore tem se movimentado para águas cada vez mais profundas e ambientes mais hostis. Consequentemente, o conceito e a evolução da produção e exploração avançam em paralelo, com a intensidade de pesquisas, vem se desenvolvendo conceitos alternativos de plataformas para produção em águas profundas

conforme apresentado por Snyder et al.[2]. As despesas associadas às plataformas de produção fixas em maiores profundidades não são mais viáveis economicamente, tornando o projeto de plataformas de produção flutuantes uma escolha muito mais atrativa em termos logísticos e econômicos. O conceito de plataformas semissubmersíveis foi concebido em meados de 1961, quando a Blue Water Drilling Company, operando a plataforma de quatro colunas Blue Water Rig N°1 no Golfo do México para a Shell Oil Company, deu origem ao primeiro exemplar desse tipo de estrutura.

Nas décadas de 1980 e 1990, os conceitos de plataformas semissubmersíveis evoluíram significativamente no contexto da exploração e produção offshore de petróleo e gás, especialmente em águas profundas, como abordado por Priest et al.[3]. As plataformas de *pontoons* fechado destinadas a unidades de produção surgiram na década de 1990, enquanto as estruturas com menos contraventamentos, desenvolvidas para plataformas de perfuração, remontam à década de 1980. Além disso, as propostas de plataformas com grande calado e as plataformas com colunas inclinadas, projetadas para otimização dos movimentos, também tiveram origem na década de 1990, destacando que essas configurações perduram até os tempos atuais.

Muitas estruturas flutuantes offshore possuem cilindros submersos ou semissubmersos como principais componentes estruturais, incluindo a parte de sua estrutura que se encontra totalmente submersa durante período de operação. De acordo com Barnett [4], essas estruturas apresentam um amortecimento limitado no movimento de heave, devido à baixa eficiência do cilindro vertical em dissipar energia nessa direção, mesmo com a atenuação parcial proporcionada pelo formato dos *pontoons*, a resposta dinâmica da estrutura ainda pode ser afetada, exigindo medidas complementares para controle dos movimentos oscilatórios.

Embora altamente evoluídas em tamanho e configuração, essas plataformas semissubmersíveis (S.S) permanecem fundamentalmente as mesmas de quando se originaram: um convés suportado bem acima do mar por *pontoons* submersos, com uma série de grandes colunas fornecendo estabilidade de flutuação. Tanto o submersível, seu precursor, quanto o S.S são oficialmente designados como "unidades estabilizadas por colunas"(USCG, ABS, etc).

Os modelos de plataformas construídos mais recentemente, desde 1998, podem ser denominados de "5ª Geração", mas uma distinção clara não surgiu entre os modelos considerados de "6ª Geração", sendo considerado o fator automação como a principal característica para distinção das embarcações conforme Chakrabarti et al.[5]. Uma plataforma S.S de produção consiste em uma estrutura flutuante constituída por um convés principal (Main Deck), colunas, braces, treliça e casco. A plataforma S.S obtém sua flutuabilidade por meio de *pontoons* lastreados localizados abaixo da linha d'água em função de sua condição operacional, enquanto o convés principal está localizado acima do topo das ondas. As colunas estruturais conectam os *pontoons* ao convés principal.

A S.S é um tipo de plataforma estabilizada por colunas, onde a maior parte de sua estrutura flutuante fica abaixo da superfície da água, tendo uma pequena área transversal na superfície. As estruturas consistem em colunas, convés e treliça, a S.S é menos afetada por cargas de ondas comparado a casco de navio convencional. Devido a sua configuração onde a estrutura responsável por manter a flutuabilidade da plataforma encontra-se submersa, a semissubmersível deve ser projetada para flutuar na água, e seu peso é suportado pelas forças de flutuabilidade devido ao deslocamento da água pelo seu casco a Figura 2 representa uma estrutura típica de S.S utilizada para perfuração. Para controlar o peso, a S.S possui tanques de lastro que podem ser preenchidos com água externa ou ar pressurizado.

A vida operativa de uma plataforma semissubmersível offshore é caracterizada por diversas fases que abrangem desde o projeto e construção até a instalação, operação e, eventualmente, o descomissionamento. De acordo com Amaechi [6], essas plataformas são projetadas para suportar condições ambientais adversas e operar em águas profundas, oferecendo uma base estável para a perfuração e produção de petróleo e gás. Durante sua vida útil, que pode variar de 30 a 40 anos ou mais, as plataformas passam por rigorosas inspeções, manutenção de modo a garantir a segurança e eficiência operacional.

As estruturas S.Ss são caracterizadas por dois propósitos principais no âmbito da produção e exploração offshore, segmentadas conforme suas funções, que podem ser classificadas como perfuração ou produção. De acordo com o abordado pela Universidade do Texas (PETEX)[7], as plataformas S.Ss de perfuração têm como objetivo explorar poços de petróleo e gás no fundo do mar, sendo móveis e temporárias, projetadas para operações de perfuração de poços de petróleo em águas profundas e ultraprofundas. Em contraste, as plataformas S.Ss de produção são dedicadas à extração e ao processamento contínuo de petróleo bruto e derivados, configurando-se como estruturas permanentes, equipadas com sistemas para separação, compressão e exportação de óleo e gás, permanecendo operacionais no campo durante toda sua vida útil. Ambas desempenham papéis fundamentais em diferentes etapas da exploração offshore.

Adicionalmente, as S.Ss. são projetadas para suportar diversas formas de carregamento estrutural, com destaque para a pressão hidrostática, que é a principal forma de carregamento local. Essa pressão inclui tanto os componentes estáticos, causados pela coluna d'água, quanto os incrementos dinâmicos decorrentes das ondas. Além disso, as pressões internas, oriundas de líquidos armazenados ou inundações internas, representam desafios adicionais para o projeto estrutural. Essas características reforçam a necessidade de um projeto robusto, capaz de atender às demandas de carregamento global e local, como a distribuição de esforços em chapas e sistemas estruturais.

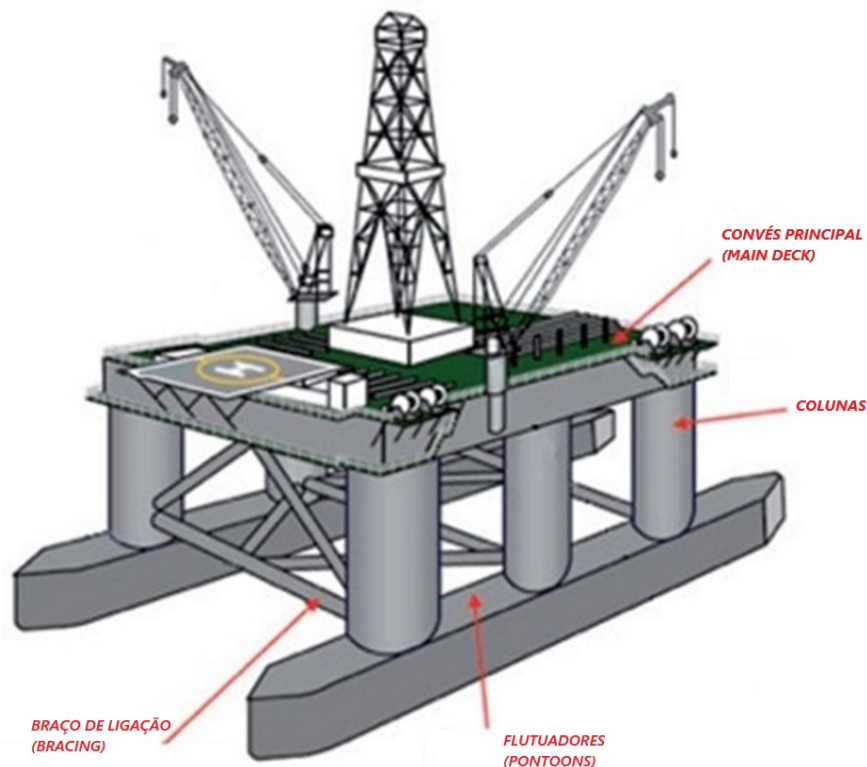


Figura 2: Semissubmersível de perfuração. Fonte:(www.offshore-channel.com)

1.1 Motivação

A conversão de plataformas semissubmersíveis em bases radares flutuantes representa uma abordagem estratégica para atender às necessidades atuais da Força Naval, alinhando-se com os interesses nacionais no que tange a defesa de toda área costeira do país. A motivação principal para esta pesquisa consiste em apresentar uma solução que possa se adequar à realidade nacional e que atenda as exigências da Força, de maneira a maximizar o potencial de monitoramento e defesa da costa brasileira, vindo a contribuir com o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SISGAAZ), alinhando-se às considerações de Gondim [8] sobre a importância de estratégias integradas para a segurança marítima.

Neste contexto, ressalta-se o conceito da Amazônia Azul, na qual trata-se da definição de uma extensa região marítima que abrange a superfície do mar, as águas sobrejacentes ao leito marinho, o solo e o subsolo contidos na projeção atlântica a partir do litoral brasileiro até o limite exterior da Plataforma Continental Brasileira. Trata-se de uma área estratégica de vital importância para o país, sendo responsável por mais de 95% do comércio exterior e pela extração de aproximadamente 95% do petróleo nacional, conforme apontado em relatório do Ipea-2019 [9]. Além disso, é um reservatório de inestimáveis recursos vivos, minerais e ambientais, abrigando importantes portos, centros

industriais e infraestruturas de energia.

A constante evolução dos cenários oceanopolíticos, associados a interesses econômicos, ambientais e geopolíticos, reforçam a necessidade de uma presença robusta e eficaz da MB nessa região. Adicionalmente, o fortalecimento de sistemas avançados de monitoramento e controle marítimo é de grande importância para mitigar ameaças presentes e futuras, a seguir uma breve ilustração da atuação da MB como apresentado na Figura 3.



Figura 3: Fragata Constituição realizando patrulhamento no campo de Marlim, Fonte: MARINHA em revista No40.

O programa SISGAZ, que coordena a integração de diversas agências e ministérios, desempenha um papel fundamental neste contexto, onde tem como missão monitorar de forma integrada as Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) e áreas internacionais, respondendo rapidamente a ameaças, emergências, desastres ambientais e ilegalidades. Este esforço envolve uma colaboração abrangente entre o Ministério da Defesa, Força Aérea Brasileira, Exército Brasileiro, Ministério da Justiça e Segurança Pública, e diversas outras entidades, incluindo agências reguladoras e ambientais, totalizando 14 órgãos engajados pelo mesmo propósito capitaneado pela MB segundo Lampert [10].

A conversão de plataformas semissubmersíveis em bases radares flutuantes tem como premissa atender à necessidade por meio de uma solução econômica e eficiente para a vigilância e defesa costeira. Ao adaptar essas plataformas para funcionamento como bases radares, vislumbra-se gerar um aumento significativo da capacidade de monitoramento e resposta, aproveitando a infraestrutura existente de forma mais eficaz.

Este estudo visa não apenas propor um meio naval para fortalecer a capacidade de defesa e vigilância da costa brasileira, mas também promover avanços tecnológicos e operacionais no setor naval, assim como o fomento da indústria nacional. Novas tecnologias, como o radar OTH-0100 desenvolvido por uma empresa brasileira e implementado através do SISGAZ, representam avanços significativos na vigilância marítima de longo alcance.

Este equipamento é capaz de monitorar vastas extensões oceânicas, alcançando até 200 milhas náuticas (aproximadamente 370 km), conforme mencionado por Kowalski [11]. Atualmente, este radar desempenha um papel fundamental no combate a atividades ilegais, como tráfico de drogas, pesca predatória e contrabando, além de reforçar a soberania nacional sobre as Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Além de programas de monitoramento radar, o Míssil Antinavio Nacional (MANSUP), também conhecido como AV-RE40, na qual trata-se de uma iniciativa estratégica desenvolvida pela MB em parceria com empresas como Avibras, Mectron, Atech e Omnisys, destacam-se pelo fomento da indústria como destacado por Gabriel [12]. Este projeto, avaliado em cerca de U\$ 75 milhões, tem como objetivo fornecer à Marinha um sistema de mísseis antinavio tecnologicamente avançado e de produção nacional. Outro programa que vem se destacando trata-se do Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) NAURU 500C, rebatizado como "RQ-2", que consiste em um drone desenvolvido para operar no 1º Esquadrão de Aeronaves Remotamente Pilotadas (EsqdQE-1) da MB. Esta aeronave remotamente pilotada são parte de um acordo entre a MB e empresas como Shell Brasil, CLS Brasil e Xmobots, focado no aprimoramento de tecnologias para operações de busca e salvamento marítimo. O NAURU 500C integra o Sistema de Planejamento e Apoio à Decisão em Operações de Busca e Salvamento (SPAD-SAR), ampliando a eficiência, agilidade e qualidade dessas missões como destaca Oliveira [13].

A integração de plataformas flutuantes radar em um sistema de defesa costeira alinhado com as diretrizes do SISGAAZ tem como premissa permitir uma abordagem mais flexível e sustentável para a segurança nacional e a proteção ambiental, os equipamentos que compõem cada um dos programas abordados são apresentados na Figura 4, como se pode observar pela ordem da esquerda para a direita, radar OTH-0100, MANSUP e NAURU-500.



Figura 4: Desenvolvimento nacional de programas de tecnologia e defesa. Fonte: Poder Naval (www.podernaival.com.br).

O contexto geopolítico econômico traz a alguns países a alternativa para implementação de programas que venham suprir as necessidades de monitoramento e patrulhamento de suas respectivas áreas marítimas de forma a garantir a soberania e controle da respectiva localização. A integração dessas tecnologias em uma plataforma flutuante reforça o potencial de defesa e vigilância costeira, alinhando-se às demandas do SISGAAZ e às

necessidades estratégicas da MB. Além de maximizar o uso de ativos descomissionados, como plataformas S.Ss, a convergência desses sistemas promove uma abordagem eficiente e sustentável para atender às necessidades de soberania, proteção ambiental e combate a ameaças em território marítimo brasileiro. A seguir conforme apresentado na Figura 5, um arranjo esquemático preliminar apresenta a extensão litorânea brasileira, dotada com sistema de monitoramento radar a partir de plataformas S.Ss convertidas em bases radares flutuantes.



Figura 5: Amazônia Azul com arranjo preliminar da atuação do programa SISGAAZ a partir de bases radares flutuantes. Fonte: www.SISGAAZ-MB.org.

1.2 Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a estrutura de plataformas S.Ss de maneira a apresentar as melhores opções para conversão destas estruturas em bases radares flutuantes, utilizando premissas técnicas e normativas que norteiam o processo. A conversão dessas estruturas requer uma abordagem criteriosa que considere a viabilidade estrutural quanto os custos atrelados, de modo a maximizar o reaproveitamento dos recursos existentes.

A avaliação estrutural será realizada em uma determinada região local da seção do *pontoon* da plataforma, para condições severas de perda de espessura, de maneira a obter resultados que permitam dimensionar os possíveis trechos dessa estrutura que estarão sujeitos a substituição ou reparo. A pesquisa busca apresentar a viabilidade estrutural dessas plataformas, onde o estudo procura correlacionar os resultados com critérios normativos e aplicar análises não lineares utilizando o método de Elementos Finitos (FEM), de maneira a avaliar a integridade estrutural das plataformas que se intenciona realizar a operação de conversão.

Com base nessa premissa, Arends [14] apresenta a necessidade da avaliação de integridade estrutural do casco. Deste modo, o presente estudo se concentra na estrutura submersa da plataforma, com o objetivo de avaliar o comportamento local dessa estrutura, considerando condições distintas de perda de espessura e fatores que contribuem para a degradação estrutural. Para isso, são simulados diferentes cenários de perda de espessura, a fim de identificar as regiões críticas e os mecanismos de falha mais relevantes.

Este estudo busca integrar além da avaliação estrutural, dentro de uma amostragem de plataformas S.Ss selecionadas para conversão, os cascos que apresentam os parâmetros mais adequados para o reaproveitamento através dos resultados obtidos por meio de análises numéricas utilizando o método de elementos finitos, de maneira a utilizar a estratégia de escolha que convirja de modo a mitigar maiores custos na etapa de conversão do meio.

Para realização deste trabalho, será utilizado como estudo de caso, um modelo local em elementos finitos, de seção do *pontoon* de uma plataforma S.S, as características dessa estrutura bem como as premissas adotadas nesse trabalho são abordadas detalhadamente no capítulo 4, estudo de caso da análise estrutural proposta, e capítulo 5, análise local da seção do *pontoon*. Dessa forma, o trabalho apresentado pode se tornar uma referência para implementação deste conceito de base, proporcionado tanto em aspectos teóricos quanto dos aspectos práticos, procurando assessorar uma possível execução com um nível adequado de confiabilidade, buscando manter o fluxo de ideias, com base em uma linha de pensamento clara. A Figura 6 representa um conceito de base radar flutuante atuando na costa brasileira.



Figura 6: Conceito de base radar flutuante operando na costa brasileira, imagem gerada por inteligência artificial (IA).

Fonte: https://www.canva.com/pt_br/gerador-imagem-ia/

1.3 Organização do Estudo

Este trabalho, após o capítulo introdutório, encontra-se dividido em outros 5 capítulos, de acordo com a seguinte sequência:

- O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, destacando os principais casos que inspiraram a elaboração e aplicação da metodologia;
- O Capítulo 3 apresenta a metodologia para seleção da plataforma, procurando enumerar os principais tópicos de estudo que norteiam a elaboração e aplicação de acordo com os critérios;
- O Capítulo 4 apresenta a metodologia e fundamentação teórica, complementando com a modelagem computacional e aplicação da norma;
- O Capítulo 5 análise do modelo local da seção do *pontoon*; e
- O Capítulo 6 Conclusões e Estudos Futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Dada a robustez e eficiência das plataformas semissubmersíveis, o presente estudo propõe a reutilização destas estruturas para outros fins, especificamente a conversão de plataformas S.Ss em fase final de operação e descomissionamento em bases radares flutuantes. Esta conversão vislumbra permitir o aproveitamento dessas plataformas, integrando sistemas de radar e monitoramento para patrulhamento da costa. A adaptação dessas estruturas para funções navais não só prolongaria a vida útil das plataformas, mas também contribuiria para a segurança e monitoramento costeiro, oferecendo uma solução econômica, estratégica e sustentável para o descomissionamento de ativos offshore.

O conceito de bases militares flutuantes foi desenvolvido de forma abrangente a partir da Segunda Guerra Mundial, onde estruturas offshore foram desenvolvidas de maneira a adiantar suas linhas de defesa, de modo a manter maior raio de alcance de vigilância e patrulhamento conforme o histórico dos modelos e aplicações implementados apresentados a seguir:

2.1 Forte Naval Maunsell e Forte Knock John

O Reino Unido enfrentou ameaça iminente de invasão pelo Eixo, especialmente da Alemanha nazista. Para defender suas águas costeiras e rotas marítimas estratégicas, várias fortificações foram construídas ao longo da costa. Entre essas estruturas defensivas, estavam os Fortes Navais Maunsell. Além dos Fortes Navais Maunsell, outro exemplo notável de estrutura militar flutuante durante a Segunda Guerra Mundial foi o Forte Knock John. Este forte também foi concebido como uma defesa costeira contra ataques inimigos e desempenhou papel crucial na proteção das águas costeiras do Reino Unido durante o conflito.

O Forte Knock John uma estrutura semissubmersível construída em concreto e posicionada na costa leste da Inglaterra, mais especificamente na área do estuário do rio Tâmisa, projetado para resistir a ataques aéreos e navais.

Assim como os Fortes Navais Maunsell, o Forte Knock John foi equipado com armamento antiaéreo e sistemas de vigilância para detectar e combater possíveis ameaças inimigas. Sua localização estratégica permitia monitorar e proteger as rotas marítimas essenciais que ligavam o Reino Unido ao resto do mundo. Construído em concreto, o Forte Knock John tratava-se de uma estrutura robusta e resistente, projetada para suportar as condições adversas do ambiente marinho.

Tanto os Fortes Navais Maunsell quanto o Forte Knock John representam marcos importantes na história da engenharia militar e da defesa costeira britânica, demonstrando a criatividade e a engenhosidade empregadas para proteger o país contra ameaças externas durante a Segunda Guerra Mundial como abordado por Dalapé [15]. Estas estruturas tornaram-se precursoras de novos programas advindos do ganho obtido a partir deste conceito de defesa, conforme apresentado na Figura 7, as estruturas concebidas para atuarem na linha de defesa encontram-se até os dias atuais na localização original onde foram instaladas.



Figura 7: Estruturas offshore utilizadas durante o período da Segunda Guerra Mundial que perduram até os dias atuais da esquerda para direita Forte Knock e Fortes Maunsell. Fonte: <https://www.warhistoryonline.com/>.

2.2 Programa Texas Towers

O programa Texas Towers tratou-se de um programa de monitoramento radar concebido nos anos 1950, durante o auge da Guerra Fria, com o objetivo de fortalecer a defesa aérea dos EUA contra ataques aéreos. Inspiradas em plataformas de perfuração de petróleo do tipo jaqueta utilizadas no Golfo do México, as torres eram compostas por estruturas metálicas fixadas no fundo do oceano, estrategicamente posicionadas ao longo da costa nordeste dos EUA, conforme apresentado na Figura 8. Essas torres foram

projetadas para abrigar radares de longo alcance, capazes de detectar ameaças aéreas a até 200 milhas náuticas, oferecendo um ganho significativo de tempo de reação para interceptar bombardeiros antes que alcançassem seus alvos.



Figura 8: Estruturas offshore utilizadas durante o período denominado de Guerra Fria. Fonte: <https://njmaritimemuseum.org/events/presentations/doomed-tower-texas-sea/>.

As torres Texas Towers foram inicialmente concebidas como uma rede de cinco torres de radar fixas, o estudo preliminar, realizado pelo laboratório Lincoln Laboratory do MIT, identificou cinco locais adequados para sua instalação: Nantucket Shoal, Georges Shoal, Cashes Ledge, Brown's Bank e Unnamed Shoal. No entanto, os desafios técnicos, os elevados custos de construção e manutenção e a mudança nas prioridades operacionais resultaram em uma implementação reduzida do projeto.

Das cinco torres originalmente planejadas, apenas três foram efetivamente construídas e operadas: TT-2, TT-3 e TT-4, localizadas em Georges Shoal, Nantucket Shoal e Unnamed Shoal, respectivamente. As torres TT-1 e TT-5 foram descartadas antes mesmo de sua construção devido à constatação de cobertura ampliada oferecida por outras tecnologias emergentes, como o sistema ALRI (Automatic Long Range Input) instalado em aeronaves de Alerta Aéreo Antecipado e Controle (AEW&C). Essa redução no número de torres foi também uma medida para conter os custos do programa e mitigar os riscos associados às operações em alto-mar conforme abordado por Jin [16], a Figura 9 apresenta o arranjo estratégico.



Figura 9: Mapa com arranjo estratégico das torres ao longo do trecho norte da costa leste Norte-Americana.

Fonte: <https://www.radomes.org/museum/documents/TexasTower.html>

As três torres em operação enfrentaram desafios estruturais e ambientais, mas foram inicialmente consideradas bem-sucedidas no fortalecimento do sistema de defesa aérea dos EUA. A TT-2 e a TT-3, embora estruturalmente seguras, foram desativadas e descomissionadas com o advento de tecnologias mais avançadas e a integração de novos sistemas automatizados de vigilância. Em 1963, o programa Texas Towers foi oficialmente encerrado, onde esse desfecho destacou a necessidade de equilibrar inovação tecnológica com segurança operacional e viabilidade econômica.

De acordo com Hokana [17], embora o número de torres construídas tenha sido menor do que o planejado, o programa Texas Towers trouxe avanços significativos para a defesa aérea, estabelecendo um precedente para o desenvolvimento de sistemas integrados de monitoramento em ambientes desafiadores. Ademais, o projeto apresentou os benefícios e limitações de implementar estruturas offshore em aplicações militares e estratégicas, um conceito que permanece relevante, especialmente em iniciativas como o monitoramento de áreas costeiras.

2.3 Sharifah Roziah

As Forças Armadas da Malásia (MAF) em parceria com a Petronas (Estatual de Petróleo e gás do País), realizaram a conversão de uma plataforma de petróleo desativada na base marítima conhecida como Sharifah Roziah. A criação desta base offshore representa uma estratégia inovadora de defesa marítima, posicionando uma linha de defesa avançada contra ameaças a este país. A base conta com equipamentos de monitoramento e radar além de recursos para apoio de operações logísticas, este conceito simboliza um esforço coordenado para melhorar a segurança na região, especialmente em parceria com nações vizinhas, como Indonésia e Filipinas, através de patrulhas marítimas conjuntas.

O conceito de plataforma utilizado na conversão da Sharifah Roziah, é de uma plataforma autoelevatória (Jack-Up), na qual possui como principal característica a capacidade de ser elevada acima do nível do mar para oferecer melhor visibilidade e proteção. Essa adaptação permite que a base sirva como um posto de vigilância estratégico e centro de operações, capaz de monitorar o tráfego marítimo e responder rapidamente a emergências.

A estrutura e as funcionalidades da base podem ser sintetizadas em três parâmetros principais: Comando e Controle, garantindo a gestão eficiente das operações e comunicações; Apoio Logístico, fornecendo recursos essenciais para a sustentação das operações prolongadas; e Dissuasão, reforçando a presença militar e a capacidade de resposta diante de ameaças potenciais.

- **Comando e Controle:** A base Sharifah Roziah opera como um centro de comando para coordenar operações de interceptação e monitoramento de ameaças, incluindo a presença de helicópteros, drones e embarcações interceptadoras para bloquear acessos indesejados, como piratas e terroristas.

- **Apoio Logístico:** Além de servir as Forças Armadas da Malásia, a base também apoia outras agências governamentais, como a polícia marítima e a alfândega. Fornece infraestrutura para reabastecimento de embarcações e helicópteros, suporte médico e áreas para descanso da tripulação, essencial para operações prolongadas no mar.

- **Dissuasão:** Com sua presença visível, a base atua como um elemento dissuasor contra ameaças, reforçando a defesa nacional de forma ostensiva e transmitindo uma mensagem clara de segurança e proteção.

A parceria com a Petronas, por meio de sua subsidiária Malaysian International Shipping Corporation (MISC), permitiu o financiamento da conversão e manutenção da plataforma de petróleo, assim como o treinamento das tripulações, que se tornaram auxiliares da Marinha Real da Malásia. Para a Petronas, este projeto não apenas protege seus ativos, como plataformas e embarcações, mas também contribui para o desenvolvimento de uma força de trabalho disciplinada e patriótica, capacitada para participar de atividades de segurança nacional, a Figura 10 apresenta a plataforma convertida em operação.

A base marítima Sharifah Roziah destaca-se como um exemplo de uso dual de pla-

taformas offshore, combinando funções de defesa e suporte logístico com a proteção de ativos energéticos estratégicos. Essa abordagem multifuncional fortalece a resiliência da segurança marítima ao aproveitar a expertise e infraestrutura já existentes da indústria petrolífera. A iniciativa representa uma alternativa econômica e eficiente para aumentar a presença militar sem a necessidade de construção de novas bases em terra, maximizando recursos e reduzindo custos. Além disso, a colaboração público-privada fomenta parcerias duradouras que reforçam a segurança coletiva e promovem a inovação em defesa marítima, conforme abordado pelo Livro Branco de Defesa das Forças Armadas da Malásia [18].



Figura 10: Plataforma Sharifah Roziah em operação na costa da Malásia. Fonte: <https://www.mafhq.mil.my/index.php/en/>

O projeto é um exemplo de inovação no uso de ativos desativados, aproveitando a infraestrutura de petróleo para fins militares e de segurança. Além das Forças Armadas, a base é utilizada por outras agências, promovendo uma integração entre diferentes órgãos de segurança. Este conceito de base no mar conforme denominado pela marinha da Malásia permite romper barreiras e unir esforços, resultando em uma estratégia de defesa colaborativa e de alta eficiência. Além disso, a reutilização de infraestruturas desativadas demonstra um uso eficiente de recursos, alinhando-se com práticas sustentáveis e econômicas. A base também fortalece a presença militar da Malásia em áreas sensíveis, ajudando a dissuadir atividades ilícitas e potencializar a segurança regional.

2.4 Odyssey

A história da Odyssey remonta a 1982, quando foi concluída para a Ocean Drilling & Exploration Company (ODECO) pelo estaleiro japonês Sumitomo Heavy Industries, a um custo orçado de \$ 110 milhões de dólares. Originalmente, a plataforma foi projetada para perfuração, sendo nomeada como Ocean Ranger II. No entanto, após uma explosão que acarretou em derramamento de óleo, a Ocean Ranger passa a ficar inoperante por

um período de aproximadamente dois anos. No ano de 1998, a plataforma é adquirida por um consórcio multinacional denominado de Sea Launch LLC integrado por Noruega, Rússia, Ucrânia e Estados Unidos, onde a plataforma foi renomeada para Ocean Odyssey.

Após a conversão a plataforma foi classificada pela American Bureau of Shipping (ABS) para serviço oceânico ilimitado em todo o mundo. A plataforma foi concebida com um design de casco duplo contando com 120 metros de comprimento e 69 metros de largura e equipada com um sistema de propulsão de 9.280 kW. A estrutura da plataforma foi projetada para suportar simultaneamente ventos de até 190 km/h, ondas de até 34 metros e correntes de até 5,6 km/h.

A plataforma foi convertida a uma base para lançamento de satélites e foguetes, um cosmódromo offshore, onde foi então posicionada no topo da plataforma uma estrutura para lançamento. O sistema móvel significa que o foguete pode ser transportado até as imediações da linha do equador para ser lançado, o que aumenta a capacidade de carga útil, a Figura 11 apresenta a ordem cronológica de conversão até a fase de modos operante da plataforma.

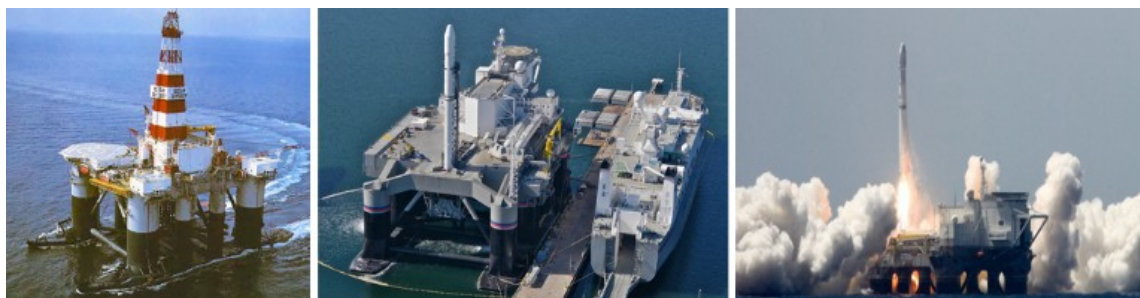


Figura 11: Cosmódromo russo, projeto de parceria público-privado, cujo a estrutura é oriunda da plataforma Odyssey. Fonte: <https://ckb-rubin.ru/>

De acordo com Pedersen [19], o programa teve seu encerramento no ano de 2014, com o início de um conflito entre Rússia e Ucrânia, o que culminou com redução significativa de investimento e retirada de membros parceiros deste consórcio. Ao todo foram realizados um total de 36 lançamentos, entre os quais 33 realizados com sucesso, 1 com sucesso parcial e 3 falhas, números que apresentam substancial sucesso para o propósito da missão.

2.5 SBX-1

O programa SBX-1 (Sea-Based X-Band Radar-1) é resultado de uma parceria público-privada que envolve a colaboração entre agências governamentais e empresas do setor privado, em que uma das principais participantes nessa parceria é a Boeing, renomada empresa aeroespacial e de defesa dos Estados Unidos da América.

A SBX-1 é uma base de radar flutuante da Marinha dos Estados Unidos e trata-se de exemplo impressionante de como plataformas descomissionadas podem ser convertidas e

adaptadas para missões militares. A construção da SBX-1 foi iniciada no início dos anos 2000, com a entrega ocorrendo em 2005. Inicialmente, a plataforma foi concebida pelo estaleiro Russo Secmash, sendo encomendada por uma empresa Norueguesa ENI, para operar no Campo de Goliat, situado no Mar de Barents, onde a estrutura é sujeita a condições ambientais extremas.

Após sua vida operativa no respectivo campo petrolífero, a plataforma foi negociada junto ao governo norte-americano, quando já era vislumbrado o projeto de uma base radar flutuante. Segundo Kaplan [20], o projeto envolveu a colaboração de várias empresas e agências governamentais dos Estados Unidos. A plataforma SBX-1 é composta por um radar de alta potência e alta frequência, capaz de detectar e rastrear alvos a longas distâncias e em altitudes elevadas. Seu papel é crucial na detecção e no rastreamento de mísseis balísticos. O custo total do projeto foi da ordem de U\$ 900 milhões de dólares, entretanto foram destinados cerca de 15% do montante para conversão e adequação estrutural da plataforma atender aos requisitos de base militar flutuante.

Tal metodologia, já utilizada pela Marinha Norte Americana no programa Sea-Based X-band (SBX) conforme abordado por DMDA[21], que consiste em um programa de desenvolvimento de radares e monitoramento, onde a estrutura base é constituída a partir de uma plataforma semissubmersível convertida para este programa. Destaca-se o histórico do casco da plataforma que é oriundo da indústria offshore de petróleo e gás, conforme apresentado na Figura 12.



Figura 12: Conversão de plataforma semissubmersível em Base Radar, SBX USNAVY.
Fonte: <https://missiledefenseadvocacy.org/>

O programa SBX-1 foi implementado no ano de 2006, a plataforma passou por adequações para conversão em base radar flutuante, com a missão de monitoramento, estando em operação até os dias atuais.

2.6 Plataforma Móvel de Defesa E Depósito (MODEP)

No ano de 2024 foi apresentado na conferência Sea Air Space-2024, o conceito de Plataforma Móvel de Defesa Depósito (MODEP), apresentado pela empresa de projetos militares Leidos Gibbs & Cox, cujo objetivo é ampliar a capacidade de defesa e monitoramento da costa do Pacífico Ocidental. De acordo com a NAVALNEWS [22], a MODEP trata-se de uma grande base insular flutuante projetada para reforçar a defesa em camadas do interesse dos EUA, podendo permanecer a uma distância ideal da costa, tendo capacidade de operar de forma independente por mais de 12 meses, é o que propõem o conceito abordado. A seguir alguns modelos de bases navais offshore conforme apresentado na Figura 14.

O programa denominado MODEP, proporciona o reaproveitamento de estruturas offshore já existentes contribuindo no quesito sustentabilidade, o que atualmente vem se tornando um tema de cada vez mais relevância no contexto mundial devido ao ciclo de vida de meios navais operativos, onde o descarte e a substituição de grandes estruturas frequentemente geram impactos ambientais e custos significativos. O reaproveitamento dessas plataformas para fins militares não só minimiza a necessidade de novas construções, mas também reduz a pegada de carbono associada à fabricação de novas bases. Além disso, o conceito de MODEP integra avanços tecnológicos, como sistemas de energia renovável e capacidades de automação, garantindo operações de longa duração com menor dependência de reabastecimento. Essa abordagem estratégica não só promove uma defesa robusta e flexível, como também reforça o compromisso com práticas sustentáveis na gestão de recursos marítimos e de defesa.



Figura 13: Modelos conceituais de plataformas convertidas em bases navais offshore.

Fonte: <https://www.navalnews.com/>

2.7 Principais Conceitos

As plataformas S.Ss são estruturas flutuantes amplamente utilizadas na exploração e produção offshore, principalmente na indústria de petróleo e gás. Estas estruturas são projetadas e dimensionadas para operar em condições severas de mar aberto, oferecendo estabilidade e resistência às forças ambientais, como ondas, correntes e ventos. Suas principais características incluem uma combinação de *pontoons* submersos e colunas verticais que sustentam a estrutura principal acima da linha d'água. Essa configuração tem como propósito reduzir de forma significativa o movimento causado por forças externas, tornando-as ideais para aplicações em ambientes marítimos desafiadores como abordado por Gerwick [23].

A conversão de plataformas S.Ss para outros propósitos, como bases flutuantes, requerem uma compreensão detalhada do histórico da estrutura e conceitos operacionais. A principal vantagem dessas plataformas é sua robustez e adaptabilidade, com capacidade para suportar desde equipamentos sensíveis como também de grande porte, como sistemas de radar e infraestrutura de apoio como apontado pelo Programa de Base Offshore (MOB) [24]. A geometria destas estruturas permite uma boa estabilidade em variadas condições de carregamento, o que se trata de um ponto importante para operações de monitoramento costeiro por períodos prolongados.

Outro conceito importante relacionado às plataformas S.Ss, trata-se da gestão de carregamentos, essas estruturas são projetadas para resistir tanto a forças globais, que afetam a estabilidade geral, quanto a cargas locais, que podem causar concentrações de tensões em áreas específicas, como conexões entre *pontoons* e colunas. Esse equilíbrio entre resistência global e local de forma a garantir a segurança estrutural durante a conversão e a operação como base radar flutuante.

Outrossim, a avaliação da vida residual e dos parâmetros de degradação, como corrosão e fadiga, são parâmetros relevantes para determinar a viabilidade da conversão, conforme abordado por Tian et al. [25]. A análise dessas estruturas envolve simulações numéricas detalhadas para identificar regiões críticas e propor intervenções que garantam a integridade e o desempenho ao longo do tempo. Esses conceitos servem como base para a metodologia proposta neste estudo, direcionando as etapas de avaliação e conversão das plataformas.

2.8 Fundamentos Teóricos

Os fundamentos teóricos básicos que sustentam a análise de plataformas S.Ss estão centrados em conceitos de engenharia estrutural e resistência dos materiais. A resistência de estruturas offshore depende do entendimento detalhado das propriedades do aço utilizado, do comportamento sob carregamentos cíclicos, e da influência de fenômenos como

fadiga e corrosão, que são comuns em ambientes marítimos. Conforme abordado por Lee [26], esses fatores são importantes para a avaliação da viabilidade de conversão destas estruturas.

A análise estrutural de plataformas S.Ss utilizam o método FEM, que permite simular com precisão o comportamento da estrutura sob diferentes condições de carregamento. Esse método é bastante utilizado para identificar regiões críticas, como soldas e conexões estruturais, onde as tensões tendem a se concentrar. A aplicação de FEM neste estudo foca em cenários de perda de espessura para prever falhas potenciais e propor soluções de reparo ou reforço.

Outro aspecto teórico relevante é o conceito de estabilidade hidrostática e hidrodinâmica, a estabilidade hidrostática refere-se à capacidade da estrutura de resistir a forças de gravidade e flutuabilidade. Esses fatores são avaliados para garantir que a conversão para base radar flutuante não comprometa a segurança e a funcionalidade da estrutura.

Destaca-se, que o dimensionamento estrutural segue critérios normativos estabelecidos por sociedades classificadoras, como a ABS (American Bureau of Shipping) e a DNV (Det Norske Veritas). Essas normas especificam requisitos mínimos para espessura de chapas, espaçamento de reforços e resistência a carregamentos específicos. A conformidade com essas normas trata-se de requisitos de projeto para garantir que a plataforma convertida atenda aos padrões de segurança exigidos.

Por fim, os fundamentos teóricos incluem a análise de carregamentos estáticos e dinâmicos. Enquanto os carregamentos estáticos, como o peso dos equipamentos, são relativamente constantes, os carregamentos dinâmicos, como as forças das ondas, são altamente variáveis e demandam uma abordagem analítica mais complexa. A integração de todos esses conceitos permite uma abordagem sistemática e confiável para a conversão de plataformas S.Ss em bases navais flutuantes.

Capítulo 3

Metodologia para Seleção da Plataforma

A metodologia de conversão da plataforma S.S. no presente estudo está focada na análise detalhada do estado estrutural atual da plataforma que já tenha sido previamente selecionado conforme os demais critérios apresentados até aqui, com com ênfase na integridade da estrutura e na perda de espessura dos componentes críticos.

Para garantir a viabilidade estrutural da conversão, foi estabelecido um processo de avaliação que considere tanto as condições atuais da plataforma quanto sua capacidade de suportar as novas demandas operacionais com condições de redução de espessura.

A condução de tal avaliação ocorre de acordo com os níveis de corrosão, deformações e quaisquer outros sinais de deterioração que possam comprometer a integridade da estrutura. Deve-se comparar a espessura medida com a admissível máxima, definida conforme os critérios de projeto e normas aplicáveis. Esses critérios devem considerar a capacidade de carga necessária para a nova configuração e os ambientes operacionais previstos em que a plataforma atuará.

Uma vez determinada a espessura mínima admissível, será possível calcular a vida residual da estrutura, ou seja, o tempo durante o qual a plataforma pode operar de maneira segura antes que a integridade estrutural seja comprometida, além de avaliar o quantitativo de chapa que deverá ser trocada para realização de conversão e extensão de vida operativa. Esse cálculo é importante para definir as intervenções de reparo ou reforço necessárias para garantir a durabilidade e a segurança da plataforma em sua nova função.

A metodologia proposta inclui a definição de um programa de manutenção contínua, que monitorará periodicamente a espessura dos componentes críticos e outros indicadores de desgaste. Esse monitoramento permitirá ajustes ao longo do tempo, prolongando a vida útil da estrutura e prevenindo falhas inesperadas.

3.1 Viabilidade para Conversão

A grande parte das plataformas S.Ss que existem no mercado são plataformas destinadas a perfuração como apresentado pelo Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI) conceitual dos Campos de Marlim e Voador [27] ; os altos custos de investimento atrelados a construção de novas unidades possibilitam avaliar de forma viável a alternativa de conversão destas plataformas oriundas da produção e exploração de petróleo em bases radares para monitoramento.

Além dos aspectos técnicos, o custo total da conversão deve ser cuidadosamente analisado. O valor de aquisição de uma plataforma semissubmersível S.S é influenciado por diversos fatores, incluindo sua condição estrutural, vida útil remanescente e viabilidade de adaptação para novos usos. Atualmente, plataformas S.Ss concebidas a partir dos anos 1980 encontram-se em fase final de operação em seus respectivos campos de exploração. Algumas dessas unidades são destinadas ao descomissionamento, enquanto outras são reaproveitadas para novas aplicações, conforme destacado pelo estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV-ENERGIA) [28].

A evolução das plataformas S.Ss reflete avanços tecnológicos significativos ao longo das décadas, desde os modelos desenvolvidos antes de 1970, caracterizados por formas hidrodinâmicas mais rudimentares e peso excessivo, que comprometiam sua eficiência, até os modelos mais recentes, conforme MacGregor [29]. A fase seguinte, como já abordado, foi marcada pela introdução de dois *pontoons* e melhorias na resposta hidrodinâmica, proporcionando maior eficiência operacional, especialmente em atividades de perfuração. Já as plataformas concebidas a partir dos anos 1980 passaram a incorporar equipamentos de perfuração mais leves, estruturas simplificadas e níveis crescentes de automação, o que as torna significativamente distintas das anteriores. Essa progressão tecnológica oferece subsídios importantes para analisar as potencialidades de conversão dessas estruturas em bases navais flutuantes, considerando a eficiência e adequação operacional ao contexto militar.

A reutilização dos cascos de plataformas S.Ss em fase final de operação pela indústria de Óleo e Gás, segundo Lepporini [30] se faz necessário por intermédio do estabelecimento de critérios chaves para o reaproveitamento das mesmas, seja para a atuação de produção e exploração ou para aplicabilidade em outros fins. Para o tema proposto pelo presente estudo a conversão de uma S.S em Base Radar flutuante requer o aproveitamento de uma estrutura que melhor se adeque a atividade da força, ou seja que possa atender aos requisitos de patrulha e monitoramento da costa dentro das AJB.

As principais diretrizes são tomadas como base em referências já utilizadas, adequando-se para a concepção atual os modelos já citados no presente estudo apontam os principais aspectos para avaliação da S.S como abordado por Hasley [31], com base na funcionalidade operacional e na segurança da plataforma, estabelecem-se as etapas do

projeto de conversão conforme o Fluxograma apresentado na Figura 14.

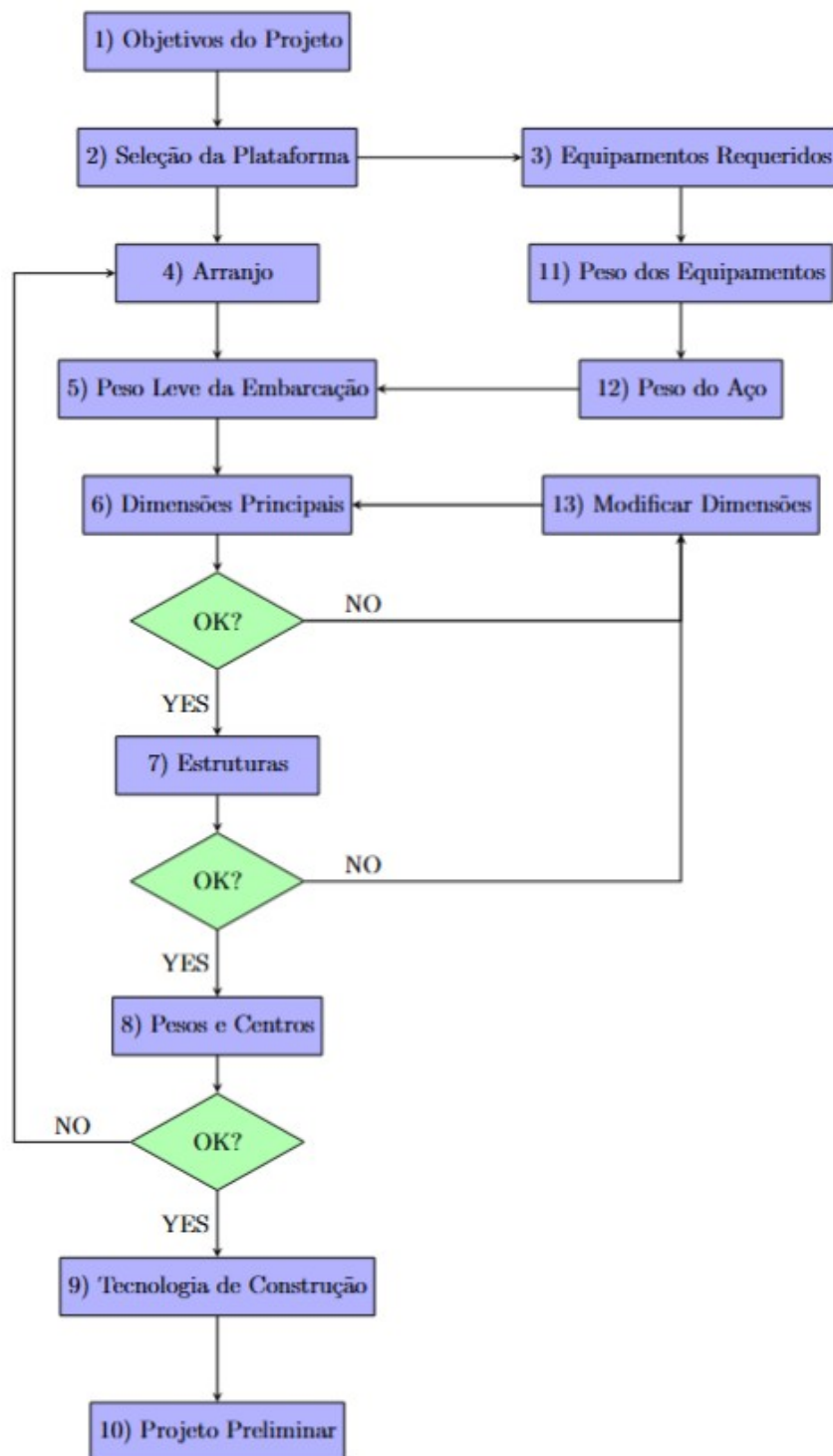


Figura 14: Fluxograma de etapas do projeto

3.2 Seleção da Plataforma

Conforme apresentado por Arends [14] para a conversão de plataformas S.Ss em bases-radar flutuante, a seleção das plataformas candidatas segue um processo estruturado em cinco etapas:

3.2.1 Etapa-1: Identificação e Exclusão Inicial

Nesta etapa, todas as plataformas S.Ss disponíveis no mercado são consideradas para análise preliminar. A triagem inicial é conduzida com base no critério de vida útil, examinando tanto o estado físico da estrutura quanto as condições dos equipamentos instalados e os que serão necessários para a conversão. As plataformas de gerações anteriores a terceira geração podem apresentar desafios relacionados à durabilidade e à manutenção, enquanto unidades mais novas, apesar de melhores condições, frequentemente demandam altos investimentos financeiros. Desta forma, uma análise com base nos critérios apresentados como o estado estrutural e uma avaliação de custo-benefício são fundamentais para decidir entre atualizar ou manter as plataformas existentes.

A seleção preliminar considera aspectos técnicos, econômicos e oportunidades de adaptação. As plataformas escolhidas devem atender às premissas do projeto, como capacidade de carga, espaço disponível e conformidade com as exigências operacionais. A análise detalhada inclui a viabilidade técnica para a instalação de novos equipamentos e a remoção de componentes originais que não serão mais utilizados, assegurando eficiência e adequação ao novo propósito.

A definição das premissas de avaliação neste estudo baseia-se nos seguintes critérios:

- a) Equipamentos Requeridos;
- b) Pesos dos Equipamentos; e
- c) Peso Total de Aço.

- a) Equipamentos Requeridos:

Após a triagem inicial, as plataformas restantes são agrupadas em categorias ou famílias com características semelhantes. Esta etapa inclui a análise de critérios técnicos, como arranjo estrutural, dimensões principais e capacidade de carga no convés. Apenas as plataformas tecnicamente adequadas para a conversão em bases radar flutuantes permanecem no processo, enquanto as que não atendem aos requisitos são eliminadas.

A plataforma convertida deve acomodar equipamentos essenciais para sua operação como base-radar, incluindo radares, sistemas de comunicação, suporte à tripulação, equipamentos de salvatagem, geradores de energia, sistemas de vigilância, além de infraestrutura apropriada para pouso e decolagem de aeronaves, como um heliponto. É importante

tratar a incorporação de equipamentos de salvatagem, conforme exigido pelas normas de segurança marítima, garantindo condições adequadas para abandono seguro da unidade em caso de emergência.

b) Pesos dos Equipamentos:

Os pesos dos novos equipamentos e dos componentes removidos são analisados em cada fase da atualização. Este levantamento é fundamental para garantir a estabilidade da plataforma e atender às demandas estruturais. O balanceamento adequado da carga é um fator crítico para manter a integridade e a segurança operacional durante e após a conversão.

c) Peso Total de Aço.

A análise do peso total de aço envolve contabilizar o material necessário para reforços estruturais e substituições de componentes deteriorados. Alterações no chapeamento e nas estruturas internas podem ser exigidas para suportar os novos equipamentos ou estender a vida útil da plataforma. Essa abordagem permite que a plataforma atenda às novas demandas sem comprometer a integridade estrutural.

3.2.2 Etapa-2: Peso Leve da Embarcação

O peso leve da embarcação é definido pela soma do peso da estrutura sem carga, após a remoção dos equipamentos desnecessários a nova configuração proposta, e a adição dos novos equipamentos requeridos. Esta informação é fundamental para determinar a capacidade de operação da plataforma e garantir que ela permaneça dentro dos limites de segurança e navegabilidade.

3.2.3 Etapa-3: Dimenssões Principais e Estabilidade

As dimensões principais da plataforma devem ser compatíveis com a instalação dos equipamentos necessários para o sistema proposto conforme abordado por Koenig e Doherty [32]. O arranjo físico dos componentes deve ser planejado de forma que não comprometa a estabilidade da plataforma. Simulações de estabilidade são realizadas para garantir que a plataforma atenda aos requisitos de operação segura, mesmo em condições adversas de mar e vento.

A partir dessa premissa, torna-se possível a sequência de avaliações considerando tanto a integridade estrutural quanto a distribuição de pesos e centros de gravidade.

A análise estrutural garante que os reforços necessários sejam implementados para suportar as novas cargas sem comprometer a segurança da plataforma, enquanto a avaliação dos pesos e centros permite ajustar o arranjo físico dos equipamentos de forma a

preservar a estabilidade e o desempenho operacional da unidade. Esse processo integrado assegura que todas as adequações estruturais e funcionais sejam executadas de maneira equilibrada, atendendo aos requisitos normativos e operacionais, a seguir a descrição de cada uma das disciplinas apresentadas:

a) Estruturas

A análise estrutural é focada nas áreas mais críticas da plataforma, como os *pon-toons*, que devem suportar a nova configuração de cargas adicionais sem comprometer a segurança. A verificação inclui o dimensionamento e a implementação de reforços estruturais necessários para acomodar os novos pesos, preservando a integridade estrutural e garantindo conformidade com as normas de classificação vigentes.

b) Pesos e Centros

A distribuição do peso dos equipamentos e a localização de seus centros de gravidade são analisadas com o objetivo de manter o equilíbrio e a estabilidade da plataforma. O planejamento da posição dos novos equipamentos e a remoção dos antigos devem garantir que o centro de gravidade permaneça dentro dos limites seguros para a operação.

3.2.4 Etapa-4: Tecnologia de Construção

A tecnologia de construção implementada para a conversão deve ser escolhida com base na eficiência e no custo associado. Técnicas modernas, como soldagem especializada, aplicação de revestimentos anticorrosivos e o uso de materiais de alta performance, podem otimizar o processo, garantindo maior resistência e longevidade à plataforma convertida. Além disso, a seleção de tecnologias adequadas desempenha um papel fundamental na otimização do cronograma de conversão, minimizando prazos e maximizando a viabilidade econômica do projeto.

3.2.5 Etapa-5: Projeto Preliminar

Com base nas análises e critérios definidos, é desenvolvido um projeto preliminar da conversão da plataforma S.S. Este projeto inclui a configuração final da plataforma, com a disposição dos novos equipamentos, os ajustes estruturais necessários e as simulações de desempenho operacional e estabilidade. O projeto preliminar serve como base para as etapas subsequentes de detalhamento e execução, garantindo que todos os parâmetros técnicos e econômicos sejam devidamente integrados.

3.3 Critérios de Avaliação

Para a conversão em base radar flutuante, conforme dados abordados por Hasley [31], a avaliação geral da plataforma semissubmersível será dimensionada conforme os critérios apresentados a seguir:

3.3.1 Área do Convés e Capacidade de Carga

A área do convés é um critério crucial, pois determina o espaço disponível para a instalação dos sistemas de radar e outros equipamentos necessários. O radar deve ser instalado no convés principal de modo a garantir a melhor operacionalidade e minimizar interferências. No entanto, a área mínima recomendada para a instalação de outros sistemas auxiliares pode variar conforme a configuração da plataforma. . Essa premissa é baseada em práticas ideais conforme abordado por Birkler [33], podendo variar de acordo com requisitos específicos como de ventilação, manutenção e operação dos equipamentos.

3.3.2 Calado de Operação

O calado de operação trata-se de um parâmetro importante para avaliação na nova configuração operacional, que interfere diretamente a estabilidade e segurança da plataforma em condições de ondas. A conversão da plataforma pode demandar ajustes na compartimentação interna das colunas para garantir a adequação do casco ao calado operacional da plataforma. No entanto, além do calado, se faz necessário verificar se o air-gap resultante é compatível com o local de operação, prevenindo impactos estruturais devido à ação das ondas. A Figura 15 apresenta o casco na sua condição operacional.

A análise desses fatores é necessária para assegurar que a plataforma convertida mantenha desempenho satisfatório e atenda aos requisitos técnicos e operacionais como base radar flutuante. Outros parâmetros relevantes para essa avaliação incluem deslocamento da plataforma, deslocamento dos *pontoons*, e potência instalada, entre outros.

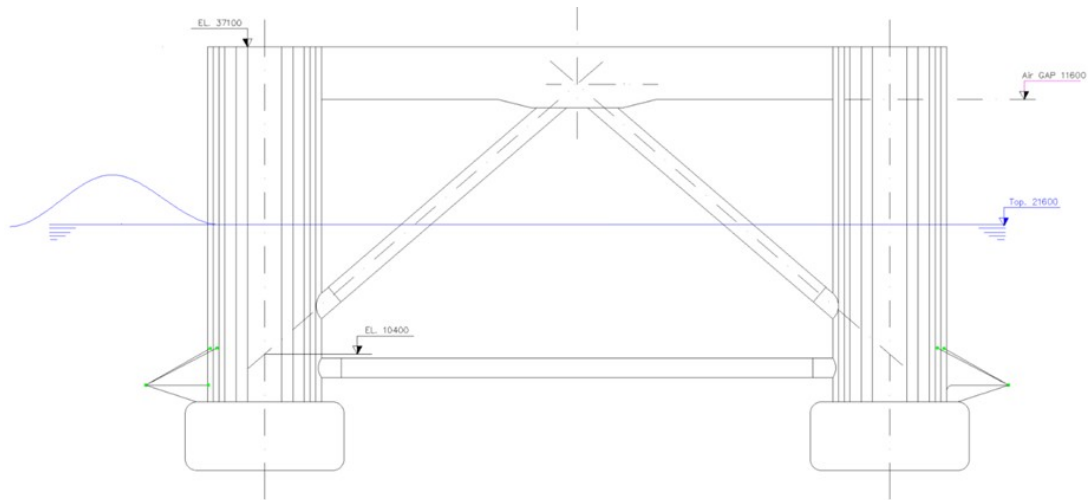


Figura 15: Calado de operação e air gap [24].

3.4 Vida Residual

A vida residual de ativos offshore refere-se ao período estimado durante o qual uma estrutura ou equipamento pode continuar a operar de maneira segura e eficiente após ser submetido a condições ambientais e operacionais adversas durante sua vida operacional para um determinado propósito. A avaliação da vida residual trata-se de uma prática importante para garantir a integridade estrutural e a segurança de unidades como plataformas de petróleo, FPSOs (Floating Production Storage and Offloading), e outras instalações marítimas.

Ademais aspectos relevantes para esta abordagem envolve a análise de vários fatores de degradação, como fadiga e corrosão, que afetam a integridade estrutural ao longo do tempo. A vida residual de uma plataforma S.S deve abordar as premissas de fadiga e corrosão, como aspectos fundamentais para a proposta de conversão.

3.4.1 Vida Residual Devido a Fadiga

A avaliação da vida residual das plataformas S.Ss, é um aspecto fundamental da conversão de plataformas. Embora a fadiga seja mencionada como um fator relevante na avaliação da vida útil, o estudo não inclui análises detalhadas sobre os efeitos desse fenômeno, concentrando-se em aspectos relacionados a reparos estruturais, de forma a garantir que a plataforma esteja adequada para sua nova configuração, considerando deteriorações estruturais relacionadas à redução de espessura devido a corrosão e suas implicações no custo total de conversão para bases radar flutuantes.

Mesmo sem tratar diretamente da análise de fadiga, é importante pontuar que esse fenômeno pode influenciar significativamente a integridade estrutural da plataforma ao longo do tempo. A fadiga ocorre devido a esforços cíclicos repetitivos que provocam

microfissuras nos materiais, especialmente em regiões críticas como soldas e pontos de concentração de tensões. Esses fatores, embora não analisados neste trabalho, são de fundamental relevância para estimar a vida útil em cenários operacionais de longo prazo.

Se faz importante adotar um programa de inspeção e reparo durante o projeto de conversão da plataforma para garantir sua estrutura adequada para a nova configuração, considerando aspectos críticos que sofrerão esforços significativos. Após a conversão, é necessário implementar um programa de manutenção contínua para monitorar e preservar a integridade estrutural da plataforma, ajustado ao volume de operações, idade da estrutura e modificações realizadas, conforme os carregamentos a que a estrutura estará sujeita com base em seu carregamento último.

Uma distinção importante entre plataformas semissubmersíveis de perfuração e aquelas convertidas para atuação em outros propósitos é o método de inspeção e manutenção estrutural. As plataformas S.Ss, por serem móveis, são geralmente inspecionadas de forma abrangente a cada dois anos, com inspeções adicionais realizadas a cada cinco anos durante o período de docagem. No caso da conversão para uma base radar, as exigências podem variar, e uma abordagem ajustada às novas condições operacionais deve ser implementada de acordo com Haritos [34].

Para a nova configuração proposta, os locais da estrutura com maior probabilidade de falhas são aqueles sujeitos a altos níveis de esforço e que experimentam variações na direção da aplicação das cargas. A concentração de esforços em uma estrutura pode ter um efeito reduzido na resistência estática se o material for relativamente dúctil. No entanto, quando a concentração de esforços é combinada com esforços repetitivos, a resistência da estrutura no ponto de concentração pode ser significativamente reduzida.

A fadiga pode se manifestar como trincas localizadas em regiões de concentração de esforços, que se propagam devido a cargas repetitivas até que a estrutura falhe repentinamente, como se estivesse sob carregamento estático.

Para nova configuração proposta, os pontos críticos da estrutura com maior propensão a falhas são aqueles submetidos a níveis elevados de tensão e que estão sujeitos a carregamentos cíclicos. A concentração de tensões em regiões específicas pode ter um impacto limitado na resistência da estrutura se o material apresentar ductilidade adequada, permitindo redistribuição local de esforços sem ruptura imediata. Contudo, quando essa concentração de tensões é associada a carregamento dinâmico, ocorre o fenômeno de fadiga com dano progressivo, reduzindo a capacidade da estrutura, principalmente em pontos de concentração de tensões. A análise da vida residual de plataformas a serem convertidas é um estudo multidisciplinar que envolve a avaliação de cargas cíclicas, condições ambientais e histórico operacional para estimar o dano acumulado e a vida útil remanescente. As unidades flutuantes estão continuamente expostas a carregamentos dinâmicos, como ondas, ventos e correntes, tornando a fadiga um mecanismo crítico. Esse efeito é especialmente relevante em regiões com concentração de tensões ou áreas

com corrosão pré-existente, que podem acelerar a propagação de trincas. A concentração de tensões, que pode ocorrer devido a processos de fabricação e construção, deve ser cuidadosamente analisada. Pontos críticos, como soldas e junções estruturais, são particularmente vulneráveis a falhas. De acordo com Wade [35], os locais mais críticos para análise são as conexões dos contraventos e as conexões com as colunas. É importante identificar essas áreas e avaliar como a conversão pode afetar o comportamento da estrutura e, conseqüentemente, a vida útil da plataforma.

A estimativa do dano acumulado requer a quantificação do número de ciclos e da amplitude das tensões, tradicionalmente combinando métodos de contagem de ciclos, como Rainflow, e curvas S-N. Durante a conversão, alguns membros da estrutura, que anteriormente eram sujeitos a pequenos esforços, podem enfrentar esforços elevados devido às novas condições operacionais. Esses membros, que podem ter sido inicialmente projetados para cargas menores, precisam ser reavaliados para garantir que possam suportar as novas demandas cíclicas sem comprometer a integridade estrutural de acordo com Braga [36].

3.4.2 Vida Residual Devido a Corrosão

A corrosão em plataformas flutuantes ocorre predominantemente devido ao contato direto com a água do mar e à exposição à atmosfera marinha, sendo amplificada por fatores ambientais como salinidade, temperatura, e condições de umidade elevada. Em ambientes marítimos, a umidade elevada favorece a formação de eletrólitos, intensificando a corrosão aquosa e a corrosão galvânica, esses fatores propiciam processos corrosivos como a corrosão uniforme, corrosão por pites, corrosão intergranular e, especialmente em estruturas flutuantes offshore, a corrosão associada à fadiga, que reduz significativamente a resistência estrutural ao longo do tempo.

Elementos estruturais críticos, como colunas e contraventamentos de plataformas semi-submersíveis, estão sujeitos a danos que incluem perda progressiva de espessura, surgimento e propagação de trincas, impactando a segurança operacional e integridade da estrutura.

A estimativa da vida residual de uma unidade convertida depende fortemente da taxa de corrosão observada, que pode ser avaliada por meio de modelos preditivos, tais como os baseados em inspeções periódicas e medições diretas da perda de espessura, possibilitando a criação de curvas que relacionam o grau de degradação ao tempo. Esses modelos geralmente envolvem o acompanhamento contínuo das taxas reais de perda de espessura, utilizando métodos não destrutivos como ultrassom (UT) ou técnicas de inspeção visual. Com base nesses dados, são construídas curvas de degradação ao longo do tempo, possibilitando a extrapolação para prever a taxa futura de corrosão em diferentes regiões da estrutura. Dessa forma, pode-se antecipar o ponto em que elementos estruturais alcan-

çarão limites críticos estabelecidos pelas sociedades classificadoras, como DNV e ABS.

De acordo com a norma da ABS [37], a estrutura do casco que será convertida deve atender aos critérios de troca de chapeamento estabelecidos de acordo com critério de reavaliação, conforme descrito na Seção 5A-2-2, na qual são verificadas as margens de espessura mínimas para troca do chapeamento e dos elementos estruturais. Para a operação ininterrupta da instalação no local, sem a necessidade de docagem seca, a corrosão prevista para ocorrer ao longo da vida útil proposta para uma Instalação de Produção Flutuante (FPI). A estimativa das taxas de corrosão previstas deve abordar quaisquer medidas futuras de proteção contra corrosão a serem utilizadas, com base em registro de serviço anteriores, o tipo e as temperaturas dos fluidos armazenados e outras variáveis que afetam significativamente a taxa de corrosão, de maneira que a integridade estrutural não seja comprometida e que a estrutura possa continuar a operar com segurança.

Como a proposta de conversão trata-se de uma plataforma que será estacionária na região de operação, a corrosão é um fator importante a ser considerado. O projeto de conversão deve incluir medidas para minimizar a corrosão, como a aplicação de revestimentos protetores e a implementação de práticas de manutenção para monitorar e controlar a corrosão. A estanqueidade da plataforma trata-se de mais uma abordagem de grande relevância de modo a prevenir problemas adicionais, como a redução da espessura das chapas devido à corrosão. As áreas suscetíveis à corrosão, como o casco, tanques e estruturas expostas ao ar, devem ser tratadas com cuidados especiais, incluindo o uso de anodos de sacrifício e tintas protetoras a base de zinco.

Para avaliação dos efeitos da corrosão na integridade estrutural de plataformas flutuantes faz-se necessário realizar análises estruturais detalhadas utilizando o método dos elementos finitos (FEM). Análises considerando diferentes níveis de corrosão baseados em inspeção ou modelos preditivos, são fundamentais não apenas para avaliar o estado atual de integridade da estrutura, mas também para identificar as regiões que necessitam de reparos estruturais. A partir dos resultados obtidos dessas análises—especialmente quanto à distribuição de tensões de von Mises é possível determinar regiões específicas que ultrapassam os limites admissíveis pelas normas, indicando locais prioritários para reparos. Estes reparos podem ser realizados por troca de chapas ou a colocação de reforçadores estruturais, como enrijecedores ou cantoneiras, com o objetivo de recuperar a resistência original dos elementos afetados.

3.5 Escolha da Plataforma

A escolha plataforma S.S que melhor se adequa para conversão deve atender os critérios ponderados neste estudo conforme as diretrizes que considerem tanto o estado atual da plataforma, quanto sua capacidade de adaptação às novas funções, conforme as necessidades de projeto. O objetivo principal é identificar uma estrutura que, após a conversão,

possa atender às exigências de patrulhamento e monitoramento costeiro, considerando os requisitos específicos da missão dentro das AJB.

As características da S.S devem atender as necessidades principais do projeto, na qual consiste em aplicação de monitoramento radar, cujo o principal propósito é expandir a zona de monitoramento do programa SISGAZ, os dados dos equipamentos têm como referência os já utilizados atualmente. Tomando como base algumas referências de S.Ss listadas na Tabela-2, cujo as características de dimensões variam assim como o respectivo ano de construção, de acordo com dados extraídos de OffshoreMagazine [38] e Lamb [39], a lista indica opções de acordo com os critérios já apresentados no presente estudo.

Tabela 3.1: Plataformas S.Ss reunidas para seleção

Plataformas	Ano	Main Deck (m)	Deslocamento (tons)
P-14	1982	72x67	22617
P-17	1982	72x67	22617
P-19	1982	102x65	35656
P-20	1983	85x70	26388
P-26	1984	96x67	34880
P-56	2011	110x75	54658
INNOVATOR	2012	210x176	15848
SNORRE B	2000	315x238	27000
NA KIKA	1987	335x289	12112
GJOA	1989	361x279	22000
NORTHERN PRODUCER	1991	69x56	4500
MIRA	2018	122x75	35000
HERCULES	2008	116x78	55133

3.5.1 Justificativa da Escolha

Com base nas plataformas relacionadas, a seleção da plataforma da série CFEM-TH 2800, essa série que engloba as S.Ss como as P-14 e P-17, na qual apresentam dimensões adequadas para conversão, deslocamentos moderados, compatibilidade estrutural e boa capacidade de adaptação para instalação de radares. As dimensões adicionadas as condições operacionais oferecem uma combinação equilibrada de robustez e flexibilidade de modo a atender aos requisitos do programa SISGAZ.

As plataformas selecionadas apresentam dados referente as dimensões principais, deslocamento e suas respectivas características estruturais. Essa disponibilidade permite o aprofundamento na análise do comportamento estrutural, para avaliação e respectivas modificações necessárias para conversão aos novos propósitos. Os dados tomados como

base para estudo de caso possibilitam a análise com maior eficiência de modo a avaliar os benefícios e desafios inerentes ao processo de conversão.

Os critérios adotados para seleção são distribuídos em três categorias principais: Estrutural, Operacional e Econômica, considera-se a relevância de cada fator para a operacionalidade, viabilidade econômica e adequação técnica da conversão. A atribuição dos pesos é tomada como base em diretrizes técnicas, estudos anteriores de acordo com Emrah[40], os pesos adotados ,refletem a metodologia e critérios utilizados para avaliar a relevância de cada fator no contexto da análise realizada, alinhando-se aos objetivos estabelecidos no presente trabalho para a condução do estudo, conforme detalhado abaixo para o caso proposto:

- Critérios Estruturais

Estes critérios estão diretamente ligados à capacidade física da plataforma, sua estabilidade estrutural e viabilidade para adaptação militar.

Tabela 3.2: Critérios Estruturais (Peso 40%)

Critério	Peso (%)	Justificativa
Dimensões do Deck Principal (comprimento x largura)	15%	Deck amplo permite instalação de radares, armamentos, alojamentos e hospital de bordo.
Deslocamento e Estabilidade	15%	Plataformas com maior deslocamento favorecem o uso de radares de alta precisão. Porém, é importante distinguir estabilidade estática de comportamento dinâmico nas ondas.
Ano de Fabricação e Estado de Conservação	10%	Plataformas mais recentes exigem menos esforços estruturais e têm maior vida útil.

- Critérios Operacionais

Estes critérios estão relacionados diretamente ao desempenho operacional, adequação a missão e autonomia da plataforma.

Tabela 3.3: Critérios Operacionais (Peso 40%)

Critério	Peso (%)	Justificativa
Capacidade de Armazenamento de Mantimentos e Suprimentos	10%	Importante para garantir autonomia logística, reduzindo necessidade de reabastecimento.
Capacidade de Armazenamento de Combustível	10%	Determina a autossuficiência energética da plataforma em operações prolongadas.
Facilidade de Conversão para Instalação de Radar e Equipamentos Militares	10%	Plataformas que já possuem infraestrutura para suportar equipamentos pesados requerem menos modificações.
Capacidade de Alojamento e Hospital de Bordo	10%	A presença de espaço para acomodação de tropas e suporte médico é fundamental para operações militares.

- Critérios Econômicos

Critérios voltados para viabilidade financeira e tempo de conversão.

Tabela 3.4: Critérios Econômicos (Peso 20%)

Critério	Peso (%)	Justificativa
Custo de Conversão e Manutenção	10%	Plataformas que exigem menos modificações estruturais apresentam custo-benefício superior.
Custo de Aquisição	5%	Estruturas mais novas e em operação possuem um valor de mercado superior a plataformas já desativadas devido à sua condição estrutural e maior vida útil remanescente.
Disponibilidade e Prazos de Conversão	5%	A viabilidade de aquisição e prazos reduzidos garantem maior eficiência no processo de conversão.

- Escala de Pesos Atribuídos (1 a 5)

A escala de 1 a 5 trata-se de uma estratégia amplamente usada em métodos de avaliação de alternativas, a aplicação desta estratégia evita grau excessivo de subjetividade.

vidade, permitindo diferenciação entre as plataformas avaliadas, o que permite realizar comparações diretas sem necessidade de normalizações complexas.

Cada plataforma candidata é avaliada dentro de um range de 1 a 5 para cada critério, onde:

- 1– Inadequado;
- 2– Pouco Adequado;
- 3– Moderadamente Adequado;
- 4– Adequado; e
- 5– Altamente Adequado.

A pontuação final é obtida de acordo com a equação 3.1, descrita a seguir:

$$\text{Pontuação Final} = \sum (\text{Nota do critério} \times \text{Peso do Critério}) \quad (3.1)$$

A soma ponderada trata-se de um método direto e dirigido de forma sucinta, amplamente aplicado na avaliação de projetos para seleção de equipamentos militares, essa estratégia permite:

- Considerar múltiplos critérios simultaneamente.
- Ajustar a importância de cada critério por meio de pesos.
- Fornecer uma avaliação quantitativa clara. Critérios e Pesos Atribuídos

A pontuação final foi calculada de acordo com a equação 3.1, para quatro plataformas candidatas dentro do espaço amostral apresentado na Tab 3.1, avaliadas conforme cenário de disponibilidade, atribuindo uma escala de acordo com os critérios estabelecidos para avaliação, baseando-se em um cenário composto por plataformas que estiveram em operação na costa brasileira, como apresentado na Tab 3.5 a seguir:

Tabela 3.5: Avaliação de Plataformas Candidatas

Plataformas	Critérios Estruturais	Critérios Operacionais	Critérios Econômicos	Pontuação Final
CFEM-TH 2800	5 x 0,4	5 x 0,4	5 x 0,2	5,0
P-56	5 x 0,4	5 x 0,4	4 x 0,2	4,8
P-26	4 x 0,4	3 x 0,4	4 x 0,2	4,0
P-19	3 x 0,4	3 x 0,4	3 x 0,2	3,0

As escalas adotadas para cada uma das plataformas analisadas com base nos respectivos critérios, abarcaram neste estudo fatores preponderantes como o ano de concepção do meio, a adequabilidade do casco para conversão agregados ao fator operacional.

A série CFEM-TH 2800 destacou-se como a melhor opção entre as alternativas avaliadas, obtendo a pontuação máxima em todos os critérios. Seu desempenho reflete a melhor combinação no que tange a capacidade estrutural, alta eficiência operacional e vantagem econômica, demonstrando-se a escolha mais adequada para o projeto proposto.

A partir da premissa destacada conforme os critérios e pesos apresentados, a adequabilidade e disponibilidade dessa série de plataformas, são embasados como ponto de inflexão para tomada de decisão preliminar de escolha.

Embora a P-56 tenha apresentado um desempenho próximo, sua pontuação econômica inferior à CFEM-TH 2800 indica que, embora viável, ela deve ser considerada uma segunda opção em cenários onde a plataforma principal não esteja disponível. As demais plataformas, P-26 e P-19, respectivamente, oferecem alternativas limitadas, adequadas apenas em condições menos exigentes ou perante a restrições orçamentárias.

Com base nas diretrizes estabelecidas e na análise das opções apresentadas e disponíveis, a plataforma da série CFEM-TH 2800, a priori representam escolhas adequadas e alinhadas aos objetivos do projeto de conversão em bases radar flutuantes, destacando-se por apresentar dimensões dentro do adequado ao projeto proposto, a Tabela 3.6 apresenta as características principais da plataforma.

Tabela 3.6: Características principais plataforma S.S.

	Dimensões	Unidades
Modelo	CFEM-TH 2800	
Deslocamento	2400	t
Pontoon		
Nº de Pontoons	2	
Comprimento do Pontoon	92	m
Distância entre a linha de centro dos pontoons	55	m
Boca do Pontoon	14	m
Altura do Pontoon	6,1	m
Convés Principal		
Comprimento do Convés	72,25	m
Largura do Convés	67,8	m
Colunas		
Nº de Colunas	6	
Diâmetro da Coluna	9,4	m
Altura da Coluna (Da linha de base até o convés principal)	37,1	m
Área Molhada	436,48	m ²
Calado de Operação	21,6	m

3.6 Estimativa de Custos

A conversão de plataformas offshore apresenta semelhanças com a adaptação de unidades descomissionadas para outros usos, como a produção de óleo em novos campos. Para orientar a estimativa, tomando como base de referências foram tomados dados históricos como os apresentados para as plataformas P-XVIII e P-XIX, que podem ser utilizados conforme abordado pelo Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas (PDI) da Petrobras [27], ajustando-se os fatores de custo com base nas diferenças de finalidade. Por exemplo, o custo do casco, representando 16,5% do total em plataformas de produção, o que corresponde a um percentual significativo na conversão para base radar, uma vez que a estrutura precisa ser adaptada para suportar novos sistemas e remoção de equipamentos ou cargas adicionais.

- **Correlação de Fatores:** Assim como no estudo de referência, fatores de correlação específicos são essenciais para ajustar os custos estimados aos requisitos do projeto.

Para a conversão em base radar, as correlações incluem:

- a) Casco: Peso do aço e área a ser reforçada.
- b) Sistema Elétrico: Potência necessária para suportar radares e equipamentos auxiliares.
- c) Pintura e Proteção Catódica: Área total a ser pintada, considerando a exposição contínua ao ambiente marítimo.
- d) Manuseio de Carga e Alojamento: Capacidade necessária para equipes de operação e manutenção.
- e) Salvatagem: Dimensionada conforme a tripulação fixa e rotativa.

Devido a questões de viés econômico do Brasil, o uso de bancos de dados atualizados e a indexação dos custos a índices econômicos confiáveis são pontos para manter a estimativa dentro de margens aceitáveis de erro. O monitoramento contínuo permite ajustes no projeto, garantindo que ele permaneça viável sem comprometer os critérios de segurança e operacionalidade.

De acordo com Maggessi [41] o Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica (EVTE) da Petrobras, descreve que a atratividade da conversão de ativos offshore será determinada pela análise do fluxo de caixa atribuído ao projeto. Para bases radar flutuantes, a receita deve considerar o benefício estratégico e operacional oferecido à defesa nacional, enquanto as despesas incluem todos os custos diretos e indiretos de conversão, manutenção e operação como abordado por Harris [42]. A escolha da alternativa mais viável economicamente requer um equilíbrio entre custo, segurança e funcionalidade.

A estimativa de custos para a conversão de plataformas offshore em bases radar flutuantes deve adotar uma abordagem robusta e flexível, tomando como base em dados históricos e ajustada para os requisitos específicos do projeto, essa análise permite uma visão clara dos investimentos necessários e da viabilidade econômica da iniciativa. Ao mesmo tempo, promove o reaproveitamento eficiente de ativos descomissionados, alinhando-se às demandas de defesa e monitoramento costeiro do Brasil.

Apartir de dados apresentados pelo estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI) [43], o custo de aquisição e desenvolvimento do sistema radar em terra foi orçado na ordem de grandeza de R\$4,5 milhões, totalizando R\$16 milhões com toda infraestrutura criada para implementação e operação do sistema conforme estudo elaborado pela FAPESP [44].

No desenvolvimento das bases navais flutuantes, as estimativas iniciais de custos são elaboradas utilizando ferramentas computacionais específicas, apoiadas em bancos de dados de projetos similares anteriores, conforme abordado por Natalizi [45]. Esse processo permite que os planejadores identifiquem quais subsistemas e equipamentos possuem

maior impacto financeiro e operacional. A partir dessa análise, os valores podem ser progressivamente refinados para aprimorar a previsibilidade orçamentária.

Como em toda deliberação de alto nível, essa escala de decisão não aborda apenas as análises técnicas e operacionais realizadas nas fases anteriores, mas também fatores estratégicos, em alinhamento com as diretrizes governamentais. No caso de meios militares, a hierarquização de alternativas é um processo desafiador. Isso ocorre porque há uma ampla gama de soluções tecnológicas disponíveis para atender às funções essenciais de um meio militar, abrangendo tanto os sistemas de plataforma quanto os sistemas de combate.

O próprio conceito de hierarquização é, por natureza, complexo, exigindo uma análise aprofundada dos prós e contras de cada alternativa, de forma a estabelecer uma ordem de prioridade entre elas. A definição das vantagens de uma determinada solução requer a avaliação de seus benefícios para a MB, para a segurança nacional e, em última instância, para o país como um todo, transcendendo, assim, a esfera puramente técnica.

Por exemplo, a seleção de um equipamento pode ser considerada mais benéfica para o país caso sua fabricação utilize tecnologia e mão de obra nacionais, mesmo que suas capacidades operacionais sejam inferiores às de um equipamento importado. No entanto, essa escolha dependerá, evidentemente, do impacto negativo que ela possa causar na eficiência operacional do meio.

Um aspecto essencial nesse processo é a questão orçamentária, ou seja, a disponibilidade de recursos financeiros destinados à aquisição do meio. Dado o elevado custo envolvido na compra ou construção de navios de guerra, os fundos necessários geralmente provêm do governo federal e estão frequentemente sujeitos a oscilações políticas e à definição de prioridades estratégicas. Assim, o orçamento deve ser sempre considerado uma variável crucial na classificação das alternativas e na determinação das escolhas mais viáveis.

A disponibilidade financeira impõe limites à aquisição dos meios, servindo como referência para a avaliação da viabilidade dos projetos. Dessa forma, quando se identifica a inviabilidade financeira de um determinado recurso, torna-se indispensável a revisão das necessidades estabelecidas de acordo com EMA-420 [46].

As análises sobre as possíveis estruturas do meio frequentemente ocorrem antes da definição dos recursos financeiros disponíveis para sua aquisição. Dessa maneira, torna-se essencial organizar e estruturar as ideias de forma a permitir que flutuações no orçamento possam influenciar as decisões de maneira mais gradual, sem a necessidade de reiniciar estudos do zero.

Capítulo 4

Análise Estrutural

Neste capítulo, são detalhados os procedimentos e métodos empregados para a análise estrutural da plataforma offshore em estudo. Com base nesta premissa gerou-se um modelo local da estrutura do *pontoon* para avaliação dos efeitos de resistência estrutural nesta região específica, permitindo uma abordagem mais detalhada da capacidade última da estrutura sob diferentes condições de carregamento. A metodologia adotada busca garantir uma avaliação precisa da integridade da estrutura, considerando as condições operacionais e ambientais às quais a plataforma está submetida.

Estruturas oceânicas estão sujeitas a variados tipos de carregamentos e deformações, desde cargas normais de serviço até cargas externas ou acidentais. Com base no histórico de estruturas offshore, submetidas a inspeções periódicas, e pesquisas teóricas e experimentais, tem sido possível aprimorar recomendações e procedimentos de projeto. Esses avanços foram incorporados ao longo da evolução das plataformas S.Ss, como destacado por Tupper [47].

Na definição de critérios para o dimensionamento de uma estrutura apresenta o requisito de segurança como fator de maior relevância, uma vez que as variáveis envolvidas no dimensionamento apresentam várias incertezas em inúmeros fatores, como cargas, propriedades dos materiais, geometria, imperfeições de fabricação e modelos de análise, o que não possibilita garantir que uma estrutura seja 100% confiável, ou seja, na prática procura-se limitar a probabilidade de falha a níveis aceitáveis, baseando-se no histórico de acontecimentos de sucesso e insucessos de uma dada estrutura.

No dimensionamento estrutural, conforme abordado por Amaral [48], a carga (L) é tratada como demanda e a resistência (R) necessária para resistir à carga, é chamada de capacidade, ambos são majorados ou minorados através dos fatores de segurança (γ) à medida que existem incertezas relacionadas aos parâmetros envolvidos. A equação 4.1 mostra a relação:

$$L\gamma_1 = \frac{R}{\gamma_2} \quad (4.1)$$

Onde:

$$\gamma_1 \text{ e } \gamma_2 \geq 1$$

Atualmente duas filosofias de projeto têm sido utilizadas, o Método das Tensões em Serviço, também conhecido como Método das Tensões Admissíveis (*Allowable Stress Design* – ASD) e o método dos Estados Limites (*Load and Resistance Factors Design* – LRFD). Tensões em serviço tem sido a filosofia principal de projeto nos últimos 100 anos. O projeto estrutural vem evoluindo em direção a procedimentos mais racionais. O uso de computadores associados a métodos numéricos de análise estrutural, como por exemplo, o método dos elementos finitos, impulsionou o projeto estrutural de sistemas oceânicos. Neste contexto, o projeto estrutural baseado na filosofia de estados limites ganhou destaque nos códigos aplicáveis a sistemas oceânicos.

O estado limite de uma estrutura é formalmente definido pela descrição de uma condição na qual um determinado membro ou própria estrutura global falha durante sua vida útil. Do ponto de vista de um projeto estrutural, quatro tipos de estados limites são usualmente considerados para estruturas de aço:

- Estado Limite de Serviço (SLS);
- Estado Limite Último (ULS);
- Estado Limite da Fadiga (FLS); e
- Estado Limite de Acidente (ALS).

Os métodos e modelos para análises de carregamento global de plataformas semissubmersíveis estão descritos de acordo com as normas da DNV [49] e [50]. Métodos apropriados incluem: análise estocástica, análise por "onda de projeto" e análise por onda regular. Essas abordagens permitem avaliar as respostas hidrodinâmicas características, levando em consideração parâmetros de entrada como comprimento de onda, altura e direção. É importante observar que a resposta global máxima da plataforma pode não ocorrer nas condições ambientais associadas à maior altura de onda, mas sim ser influenciada por fatores como o período da onda e os parâmetros de inclinação associados, que determinam as respostas extremas.

Para a avaliação estrutural da plataforma, é necessário o entendimento do comportamento da estrutura para que seja possível realizar a linha de ação mais adequada a se tomar. Resultados de tensões estocásticas, apesar de úteis para simulação, podem não

ser adequados para decisões de projeto, uma vez que a simultaneidade da distribuição de forças e tensões pode ser perdida. Assim, a aplicação de métodos de "onda de projeto" ou de análises por onda regular se mostram mais eficazes para a avaliação de integridade estrutural e decisões de engenharia de acordo com DNV [50].

No que diz respeito às respostas hidrodinâmicas globais que influenciam a resistência da unidade, forças e momentos característicos que atuam na plataforma devem ser considerados. De uma perspectiva de carga ambiental, conforme abordado por Soler [51] existem dois sistemas de carga de ondas importantes. O primeiro é a carga de "compressão/tração", ilustrada esquematicamente na Figura 16. Este sistema trata-se de um efeito de carregamento transversal, enquanto a carga vertical não possui um impacto significativo. Há duas etapas nesse sistema: na primeira etapa, o efeito de tração ocorre quando o topo da onda está centrado, e as forças de onda exercem pressão que tenta separar a estrutura semissubmersível. Na segunda etapa, a "compressão", o vale da onda está centrado, provocando um efeito de empurrar a estrutura pelos lados. Este fenômeno ocorre em todas as direções de onda, mas as estruturas são mais vulneráveis a mares de través. O comprimento da onda (período) em relação ao espaçamento das colunas e pontoons é particularmente crítico. Em uma unidade típica com dois *pontoons*, esforços horizontais ocorrem entre os *pontoons* e reforços diagonais entre o convés, contraventamentos *braces* e colunas.

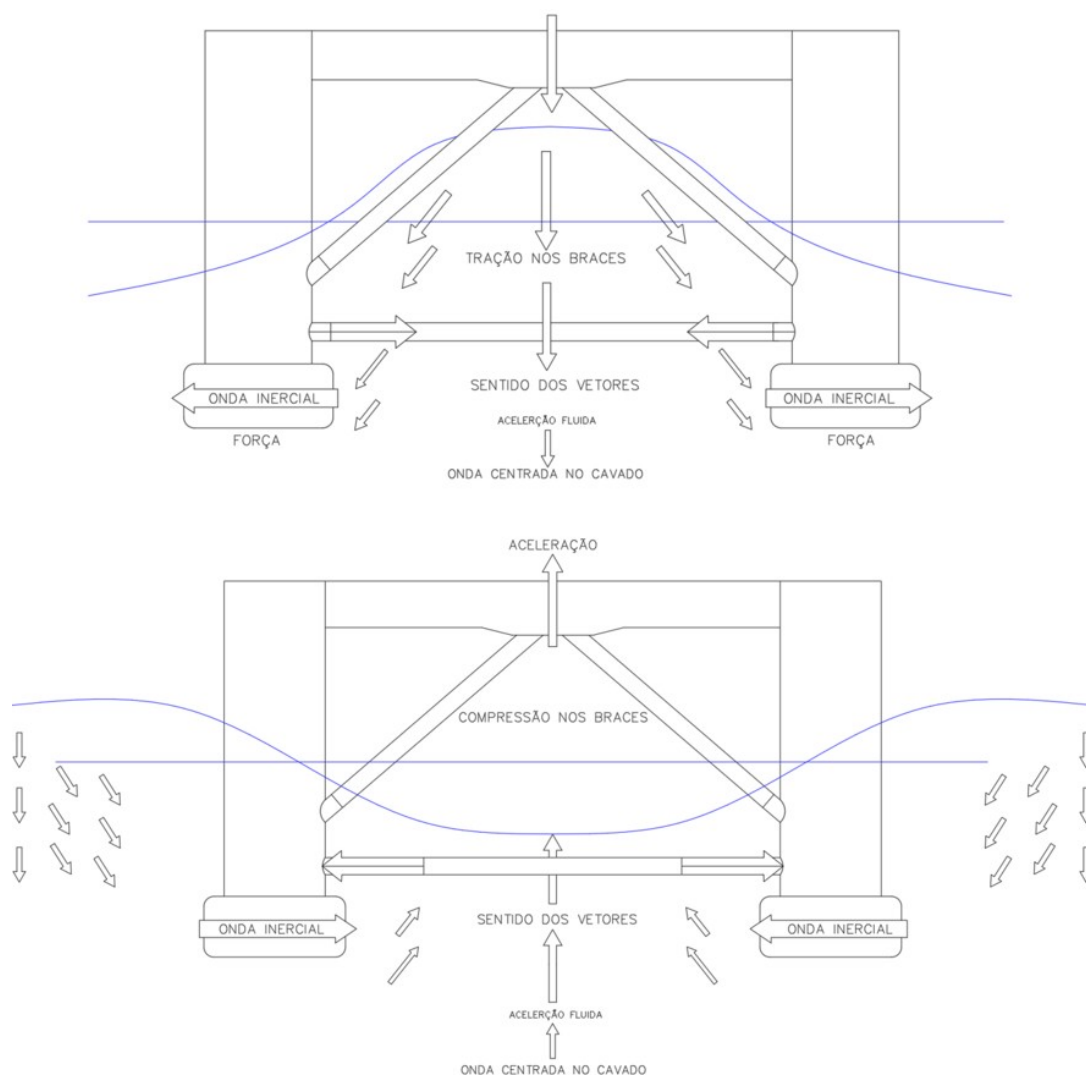


Figura 16: Combinação de componentes.

A distribuição de lastro influencia diretamente os efeitos globais de carga e deve ser considerada na modelagem estrutural. Para isso, análises estruturais simplificadas podem ser empregadas, utilizando modelos de quadro com elementos de viga para representar os *pontoons* e colunas, adotando-se condições de contorno fixas ao nível do convés. Essa abordagem permite avaliar diferentes configurações de lastro e seus impactos na integridade estrutural da unidade. Além disso, é fundamental considerar as condições extremas de lastro utilizadas nos planos de carga dos tanques, que englobam cenários máximos e mínimos, conforme ilustrado na Figura 17. Deve-se também avaliar os efeitos de cargas assimétricas nos tanques, especialmente quando distribuídas diagonalmente, pois tais condições podem gerar esforços adicionais e comprometer a resposta estrutural da plataforma.

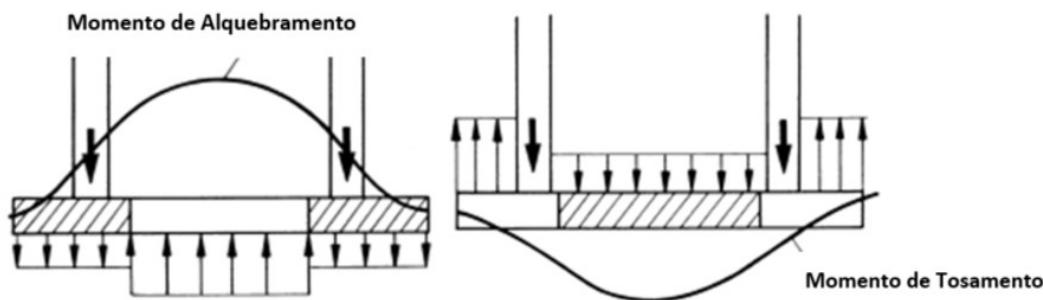


Figura 17: O lastro nas extremidades maximiza o momento de alquebramento (*hogging*), enquanto o lastro central intensifica o momento de tosamento (*sagging*).

4.1 Carregamento Hidrostático

Conforme os requisitos estabelecidos por normas de sociedades classificadoras como ABS e DNV, a estrutura avaliada deve ser analisada seguindo os parâmetros preconizados por essas regulamentações. Tais diretrizes abrangem aspectos como resistência estrutural, tolerâncias para degradação por corrosão, critérios de segurança e métodos de inspeção. A adoção de critérios normativos permite alinhar a análise estrutural de maneira que possa obter dados para que a plataforma atenda aos requisitos técnicos e operacionais exigidos para sua nova função.

A aplicação dos parâmetros normativos permite a determinação criteriosa dos carregamentos externos e internos atuantes na estrutura, assegurando que a análise esteja alinhada com as condições operacionais da plataforma.

Esses parâmetros foram adotados para incorporar ao modelo numérico computacional, viabilizando a simulação das condições hidrostáticas às quais a estrutura estará submetida. Essa abordagem possibilitou a avaliação detalhada do comportamento da plataforma sob diferentes cenários operacionais, garantindo que sua conversão ocorra dentro dos limites de segurança estrutural exigidos para a nova aplicação.

Os carregamentos hidrostáticos desempenham um papel fundamental na análise estrutural do modelo local da plataforma S.S, especialmente no contexto abordado no presente trabalho. A definição desses carregamentos seguiu os critérios estabelecidos pelas normas DNV-GL-OS-C101 [49] e DNV-GL-OS-C103 [50], fornecendo parâmetros normativos essenciais para avaliar as condições operacionais da plataforma.

4.1.1 Pressões Oriundas do Mar

Pressões do mar para análises locais e dos escantilhamentos são fornecidas de acordo com os parâmetros apresentados em Ch.2 Sec.2 de [50]. A pressão do mar de projeto atuando em *pontoons* e colunas de unidades S.Ss estabilizadas por colunas em condições

operacionais deve ser tomada conforme apresentado a seguir pelas equações 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5:

$$P_{d,ULS} = p_s \gamma_{f,E} + p_e \gamma_{f,E} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (4.2)$$

$$p_s = \rho g_0 c_w (T_E - z_b) \quad (\text{kN/m}^2) \geq 0 \quad (4.3)$$

$$p_e = \rho g_0 c_w (D_D - z_b) \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{para } z_b \geq T_E \quad (4.4)$$

$$p_e = \rho g_0 c_w (D_D - T_E) \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{para } z_b < T_E \quad (4.5)$$

Onde:

T_E = Calado operacional (m) medido verticalmente desde a linha de base moldada (B.L.) até a linha de água de carga atribuída. Se a unidade tiver mais de um calado operacional, deve-se usar o calado que fornece a maior pressão. $T_E = 21.6$ m.

C_W = fator de redução devido ao movimento das partículas = 0.9.

D_D = distância vertical (m) da linha de base moldada até a parte inferior da estrutura do convés. (A maior distância relativa da linha de base moldada até a crista da onda pode substituir D_D se for provado menor.)

z_b = distância vertical (m) da linha de base moldada até o ponto de carga.

p_s = pressão estática do mar.

p_e = pressão dinâmica (ambiental) do mar.

De acordo com a Figura 18 pode-se observar as respectivas características para cada condição apresentada.

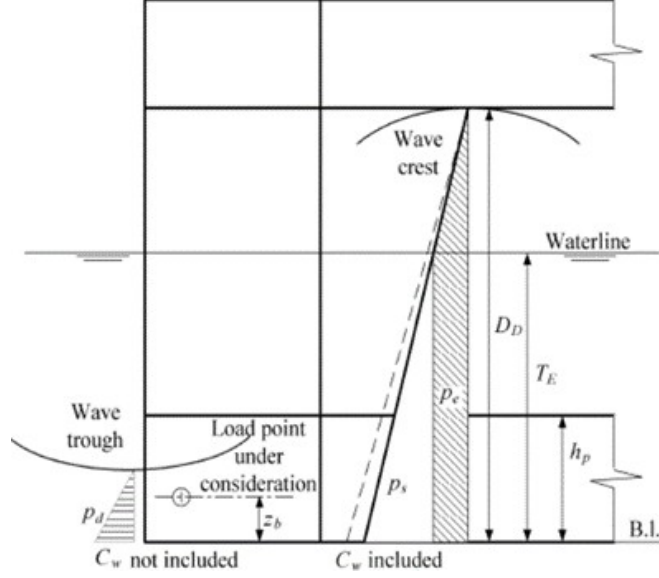


Figura 18: Parâmetros adotados para cálculo da pressão do mar [47].

4.1.2 Pressões dos Tanques

Cargas dos tanques para análises locais e escantilhamentos são fornecidas em [50] Ch.2 Sec.2. Onde recomenda para o projeto de todos os tanques, a condição de pressão interna de projeto a qual deve ser considerada de acordo com a equação (4.6):

$$P_d = \rho g_0 h_{op} \left(\gamma_{f,G,Q} + \frac{a_v}{g_0} \gamma_{f,E} \right) \quad (\text{KN/m}^2) \quad (4.6)$$

Onde:

P_d = Pressão no tanque (KN/m^2) considerando os fatores definidos.

ρ_b = Densidade do líquido, sendo a densidade mínima igual à da água do mar (1.025 kg/m^3).

g_0 = Aceleração devido à gravidade (9.81 m/s^2).

h_{op} = Distância vertical (m) do ponto de carga até a posição de altura máxima de enchimento. Para tanques situados abaixo do calado operacional extremo (T_E), a altura máxima de enchimento para o projeto não deve ser menor que T_E .

$\gamma_{f,G,Q}$ = Fator de carga para cargas permanentes e funcionais variáveis. Valor recomendado: 1.2.

a_v = Aceleração vertical máxima (m/s^2), como resposta de movimento operacional aplicável ao tanque. Para cálculos preliminares, pode-se assumir $a_v = 0.3g_0$. Para o projeto final, a_v deve ser documentada.

$\gamma_{f,E}$ = Fator de carga para cargas ambientais conforme os parâmetros especificados.

Essa pressão interna não precisa ser combinada com cargas ambientais extremas, pois não é provável que a operação de enchimento do tanque ocorra juntamente com ondas extremas. Normalmente, apenas a resposta global estática precisa ser considerada.

Os parâmetros para pressões dos tanques são ilustrados na Figura 19.

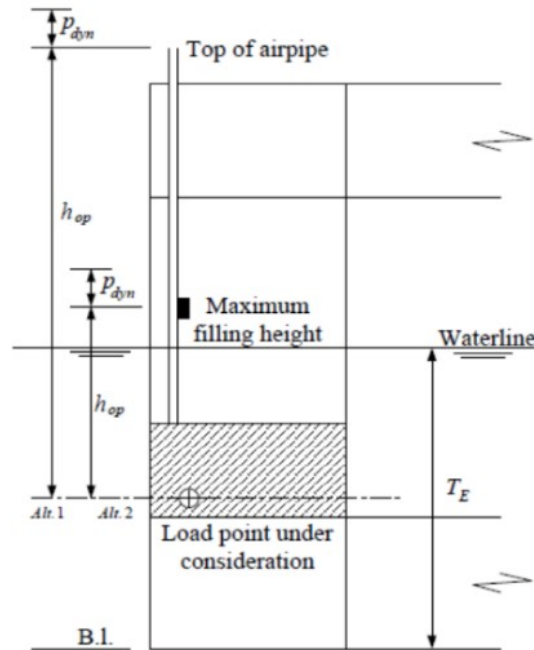


Figura 19: Parâmetros de pressões dos tanques aplicados em plataforma S.S [48].

4.2 Modelo Numérico

Nesta seção são apresentadas considerações essenciais para a criação de modelos estruturais de plataformas semissubmersíveis por meio do método dos elementos finitos (FEM). São discutidas estratégias para transformar a geometria física dessas estruturas em modelos computacionais apropriados para análise numérica, incluindo a criação de modelos a partir de esboços preliminares ou com o uso de softwares de desenho assistido por computador (CAD).

4.2.1 Método dos Elementos Finitos

Os problemas de engenharia demandam modelagens matemáticas solucionáveis. A modelagem de problemas envolve em grande parte a construção de um sistema de equações diferenciais cuja solução somente é possível para modelos matemáticos relativamente simples. A obtenção da solução a partir de um sistema contínuo, ou seja, um modelo baseado na interpretação original do modelo físico, se apresenta, portanto, inviável na maioria dos casos de engenharia. A dificuldade em obter formas fechadas de solução

analítica pode ser contornada por meio da transformação do sistema contínuo em um sistema discretizado, esta alternativa é o conceito fundamental utilizado pelo método de elementos finitos.

A Figura 20 ilustra os princípios fundamentais do método FEM, uma técnica amplamente utilizada em análise estrutural. O processo envolve a discretização do domínio físico em uma malha de elementos finitos, onde cada elemento representa uma porção do material ou estrutura. As condições de contorno são aplicadas para simular restrições e carregamentos reais, enquanto a resposta do material é modelada para capturar o comportamento mecânico sob diferentes condições. Além disso, condições de contato entre elementos podem ser consideradas para analisar interações entre diferentes componentes ou superfícies. Esses elementos combinados permitem uma simulação detalhada de sistemas complexos, como as plataformas S.Ss.

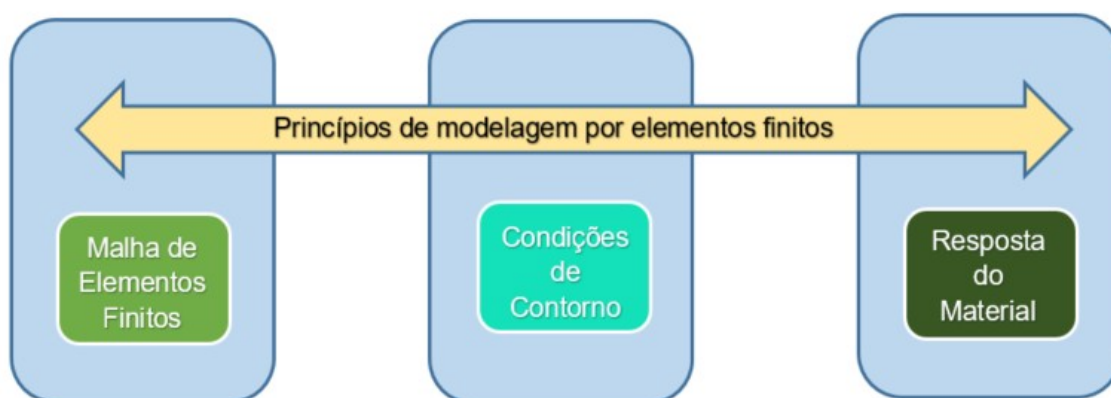


Figura 20: As partes constituintes de uma modelagem típica de FEM [44].

4.2.2 Modelagem do Pontoon

A partir das características principais da plataforma S.S selecionada para avaliação, realizou-se a modelagem computacional, de modo a representar da forma mais fidedigna possível. Esse modelo é desenvolvido com o auxílio de ferramentas CAD, como o método dos elementos finitos, permitindo a simulação das condições operacionais e ambientais às quais a plataforma está sujeita.

O modelo computacional global considera toda a geometria da S.S, de modo a que se possa visualizar a estrutura local que será analisada conforme representado na Figura 21, que representa computacional 3D da plataforma e a seção local selecionada para modelagem análise. Dessa forma, o modelo computacional se apresenta como uma ferramenta relevante para a tomada de decisões relacionadas à adaptação da plataforma, garantindo a segurança e a eficiência do projeto.

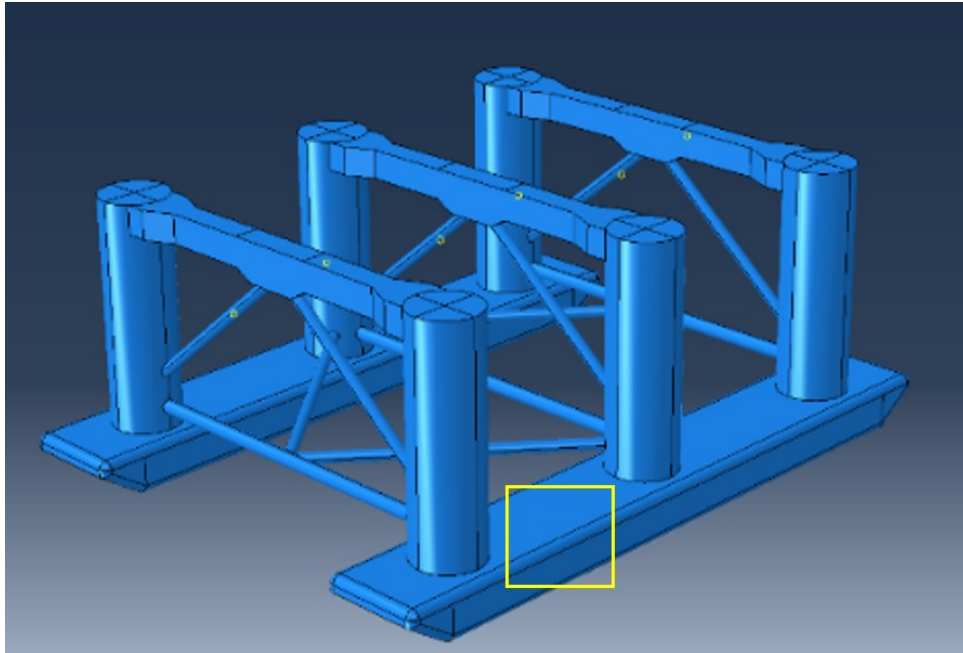


Figura 21: Modelo computacional da estrutura CFEM-TH 2800

Além de permitir a avaliação da integridade estrutural da unidade, a modelagem computacional é uma ferramenta essencial na fase de adaptação da plataforma para novas funções, como o proposto no presente estudo. Dessa forma, o uso desse modelo possibilita a otimização do projeto, garantindo a segurança operacional e a viabilidade estrutural da plataforma em sua nova aplicação.

O modelo local é empregado para identificar comportamentos estruturais críticos, permitindo uma análise detalhada de regiões sujeitas a tensões elevadas e deformações específicas as Figuras 22 e 23 apresentam a seção representada para análise. Esse nível de modelagem se concentra na avaliação de elementos estruturais fundamentais, tais como:

- Anteparas longitudinais e transversais, que garantem a integridade estrutural e compartimentação da plataforma;
- Vigas principais e estruturas transversais, responsáveis pela distribuição de cargas e resistência global da unidade;
- Interfaces ou junções críticas, como as conexões entre colunas e flutuadores, sujeitas a esforços significativos.

O principal objetivo dessa abordagem é assegurar que o projeto estrutural seja capaz de suportar adequadamente as cargas impostas durante sua operação, prevenindo falhas que possam comprometer a segurança da estrutura. Essa avaliação é especialmente relevante em cenários que envolvem a degradação do material ao longo do tempo, como a perda de espessura devido à corrosão ou danos acumulados.

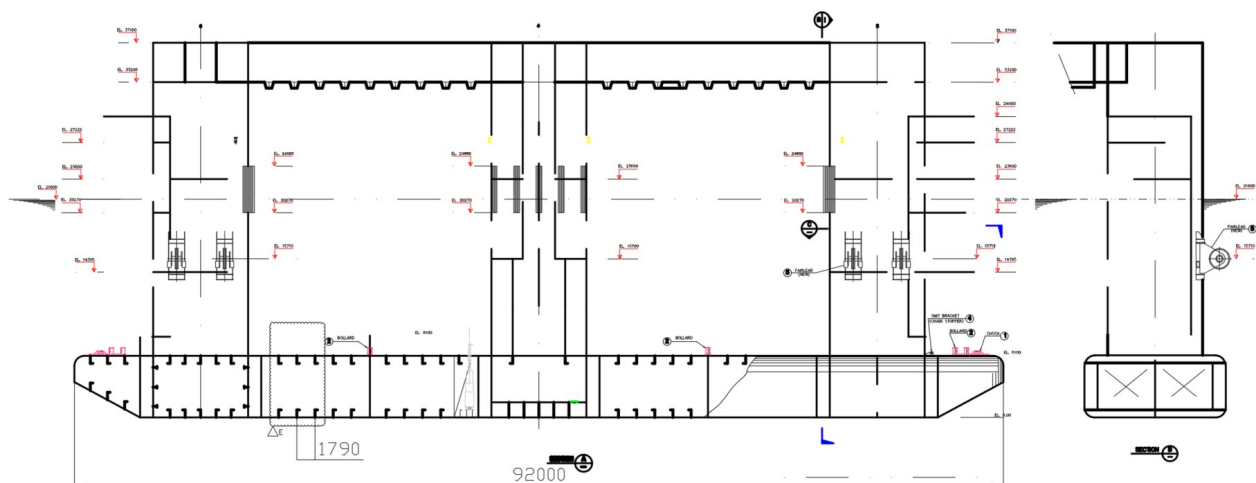


Figura 22: Seção Longitudinal do *Pontoon* S.S série CFEM-TH 2800

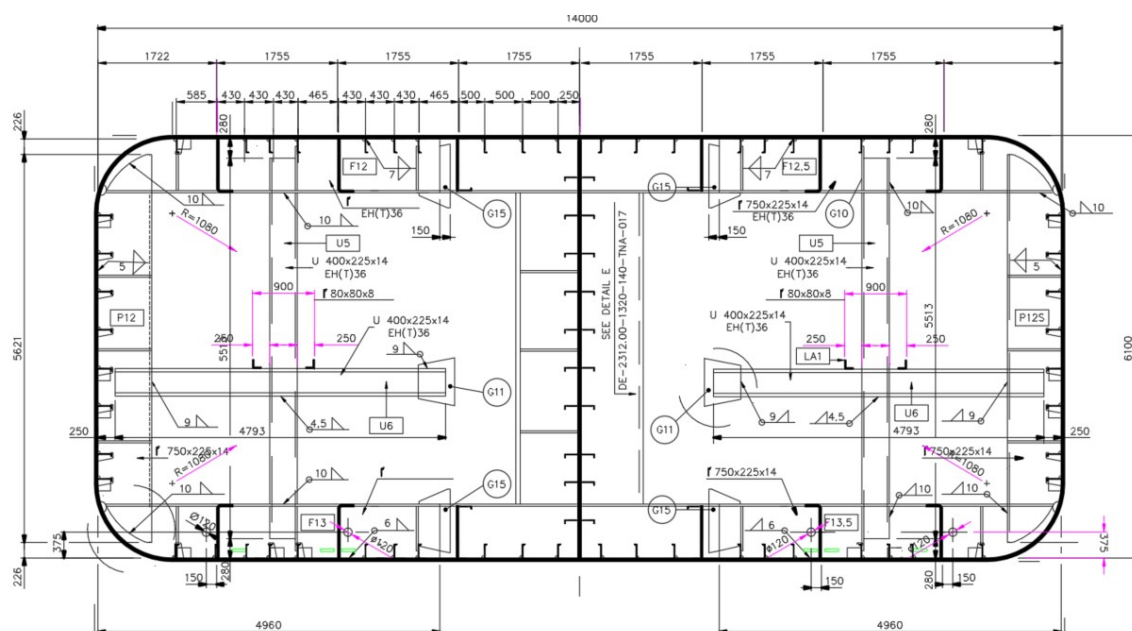


Figura 23: Seção Transversal *Pontoon* S.S série CFEM-TH 2800

O modelo local do *pontoon* foi desenvolvido com base nas dimensões principais da plataforma cujo pontal de 6,1 metros, boca de 14 metros e comprimento utilizado para o presente caso foi de 5,37 metros, sendo utilizado de forma conservadora um padrão uniforme de chapamento de 14 milímetros, para todo chapeamento do *pontoon* (Fundo, Costado e Topo) além dos respectivos reforçadores transversais e longitudinais. Vale destacar que o comprimento consiste em uma caverna inteira e mais duas meias cavernas. Esta representação procura abordar fielmente o arranjo de modo a analisar os esforços locais na região destacada pelo modelo.

A Figura 24 apresenta o modelo local proposto para análise, destacando as dimensões e a configuração estrutural mencionadas. Através deste modelo, procura-se identificar

as regiões críticas e avaliar a eficiência das soluções de reforço adotadas, de maneira a manter a segurança e a integridade da plataforma para operação em um novo propósito ao longo de sua vida operativa.

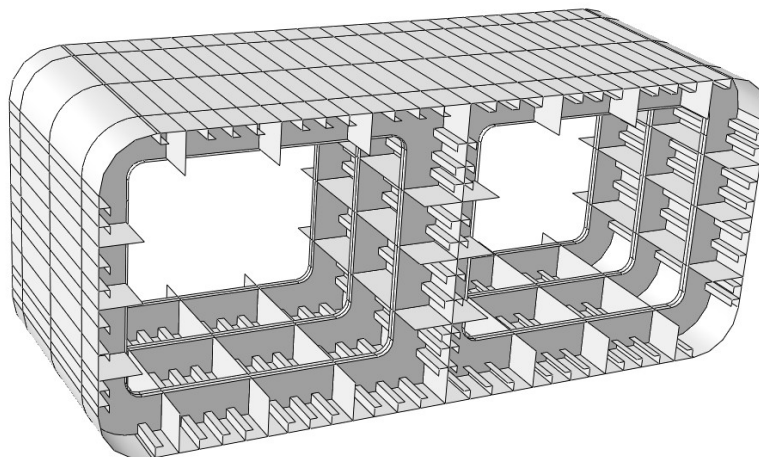


Figura 24: Modelo local gerado para análise.

Nessa etapa, são analisadas possíveis modificações estruturais e reforços necessários para garantir a longevidade da unidade em sua nova aplicação. A modelagem detalhada contribui para um planejamento eficiente, mitigando riscos e garantindo um desempenho estrutural adequado ao propósito da plataforma.

4.3 Material Utilizado na Avaliação

O material é isotrópico e com comportamento elástico-perfeitamente plástico, sem a consideração das tensões residuais resultantes do processo de fabricação.

O encruamento isotrópico resulta a partir da mudança na microestrutura nos estados iniciais do carregamento cíclico, aumentando ou diminuindo sua resistência contra a deformação plástica do material. Usualmente, os materiais submetidos à deformação plástica cíclica uniaxial tendem a endurecer ou amolecer, isto devido às interações entre os deslocamentos até sua estabilização. No contexto de modelos constitutivos em análise de elementos finitos, o encruamento isotrópico descreve o aumento homogêneo da tensão de escoamento do material devido à deformação plástica acumulada, caracterizado pela expansão proporcional da superfície de escoamento em todas as direções no espaço de tensões. A Figura 25 apresenta as características do material elástico-perfeitamente plástico.

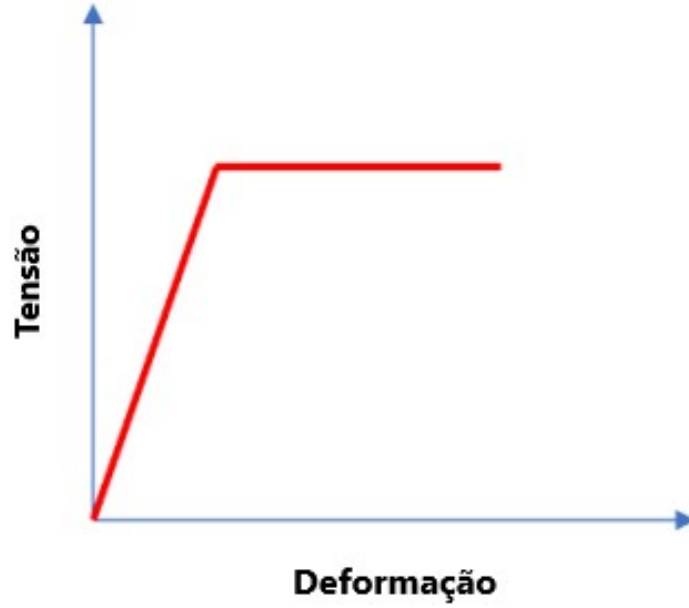


Figura 25: Material elástico-perfeitamente plástico.

As propriedades mecânicas do material constam na Tabela 4.1, conforme apresentado a seguir:

Tabela 4.1: Propriedades do material usado no modelo da estrutura local do *pontoon*.

Parâmetros	HT36
σ_y	355 MPa
E	210 GPa
ν	0,3

O critério de falha von Mises e de Máxima Energia de Distorção foi adotado neste trabalho devido ao aço ser um material dúctil, ou seja, sua ruptura ocorre após o surgimento de deformações plásticas irreversíveis no corpo conforme abordado por Zienkiewicz [52]. A equação (4.18) representa o critério para um estado triplo de tensão em função das tensões principais:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (4.18)$$

Onde σ_e é a tensão de escoamento do material e σ_k são as tensões principais, sendo $k = 1, 2, 3$

4.4 Carregamento e Condições de Contorno

As condições de contorno aplicadas neste trabalho foram tomadas com base nas apresentadas por VAN-VU [53]. Para a análise das condições de contorno para pressão e

flexão, foram considerados os seguintes aspectos:

- Pressão: A pressão aplicada nas superfícies externas do modelo local é a pressão hidrostática definida com base nos parâmetros abordados no tópico 4.1.1, distribuída de forma a simular as condições operacionais da plataforma. Esta pressão representa a carga hidrostática que a estrutura irá suportar durante sua vida operativa para um novo propósito. Adicionalmente, foram considerados os efeitos de pressão interna no tanque, de acordo com o recomendado pela DNV [50], para garantir uma análise abrangente das condições de operação da estrutura.

- Flexão: As condições de contorno para flexão foram definidas de modo a representar as forças e momentos aplicados no carregamento último da estrutura. As vigas principais e anteparas foram modeladas para resistir aos momentos submetidos, garantindo a integridade estrutural sob cargas de flexão. As interfaces críticas, como as regiões de transição como fundo e costado do *pontoon*, foram analisadas para avaliar se podem suportar os esforços de flexão sem comprometer a segurança.

As imperfeições iniciais consideradas para análise de carregamento último sob flexão, são induzidas a partir do carregamento hidrostático a que a estrutura está sujeita, onde podem ter um impacto significativo no estado limite e em seu mecanismo de colapso. Portanto, se faz necessário um entendimento do efeito dos padrões e magnitudes das imperfeições de acordo com a estrutura analisada ou similares.

Os pontos de referências ou (*Reference Points*), representam pontos remotos, e estes pontos estão acoplados aos nós das bordas rigidamente se mantendo sempre no mesmo plano, porém estão livres nos demais graus de liberdade. Deste modo os nós das bordas têm liberdade para deslocar nas direções y e z, além da rotação em x.

Os pontos de referência encontram-se posicionados de acordo com as coordenadas da linha neutra do modelo local da estrutura em análise. As condições de contorno implementadas no presente modelo abrangem os seguintes aspectos principais:

- Nos nós das bordas: A pressão foi aplicada perpendicularmente à superfície, garantindo que a carga hidrostática seja bem distribuída. A flexão foi introduzida através de momentos aplicados nos pontos de referência, simulando as condições operacionais da plataforma.

- Nas interfaces críticas: As condições de contorno foram ajustadas para refletir os esforços complexos de flexão e pressão, garantindo que essas regiões possam ser avaliadas adequadamente.

A Figura 26 apresenta o modelo local proposto para análise, destacando as dimensões e a configuração estrutural mencionadas. Esta representação procura reproduzir fielmente a estrutura local analisada para avaliar os esforços locais na região destacada pelo modelo.

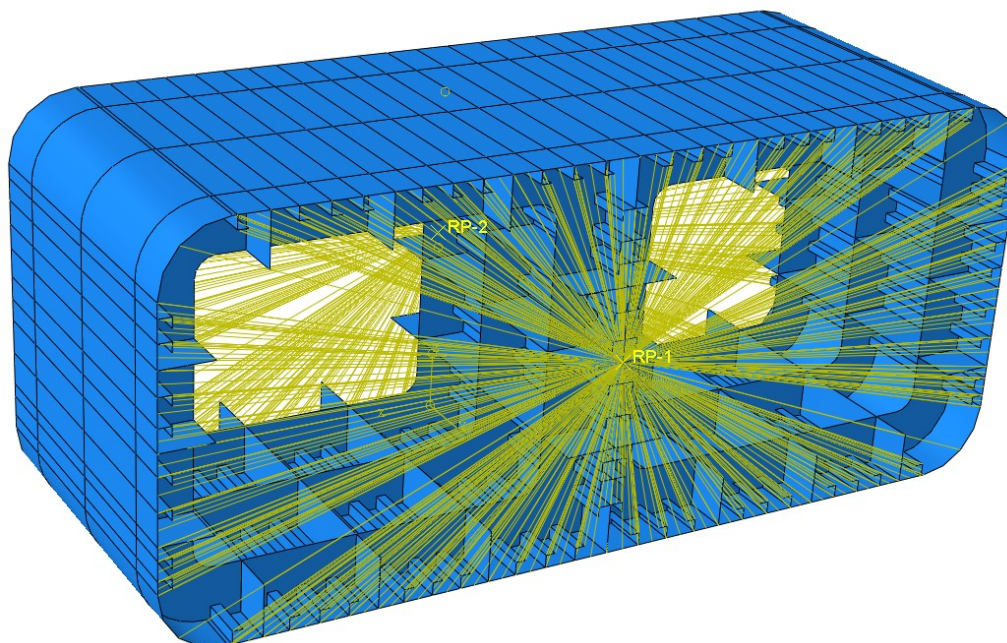


Figura 26: A figura apresenta as condições de contorno aplicadas aos pontos de referência pelos acoplamentos rígidos.

4.5 Discretização do Modelo

As malhas utilizadas nos modelos deste estudo foram predominantemente compostas por elementos quadriláteros do tipo casca, devido à sua eficiência na análise estrutural pelo método FEM. Esse tipo de elemento é amplamente reconhecido por apresentar melhores resultados em relação aos elementos triangulares, especialmente em análises de estruturas finas, onde a espessura é significativamente menor que as dimensões do comprimento e largura.

Para a construção da malha no software ABAQUS CAE, foi selecionado o elemento S4R da biblioteca do programa. Onde trata-se de um elemento de casca quadrilateral com integração reduzida, composto por quatro nós, cada um com seis graus de liberdade (três translações e três rotações nos eixos x, y e z). Esse elemento é particularmente indicado para análises lineares e não lineares que envolvem grandes rotações e deformações. A escolha pelo S4R também se deve à sua capacidade de mitigar o efeito de rigidez excessiva conhecido como "shear locking", proporcionando maior precisão nos resultados de acordo com manual do software ABAQUS CAE [54].

A modelagem do revestimento do navio e dos sistemas de reforço com um tamanho de malha espaçado conforme o distanciamento dos reforços, 730 x 730 milímetros, de acordo

com o descrito pela Figura 27, é suficiente para realizar a avaliação do escoamento e da resistência última das estruturas principais do casco.

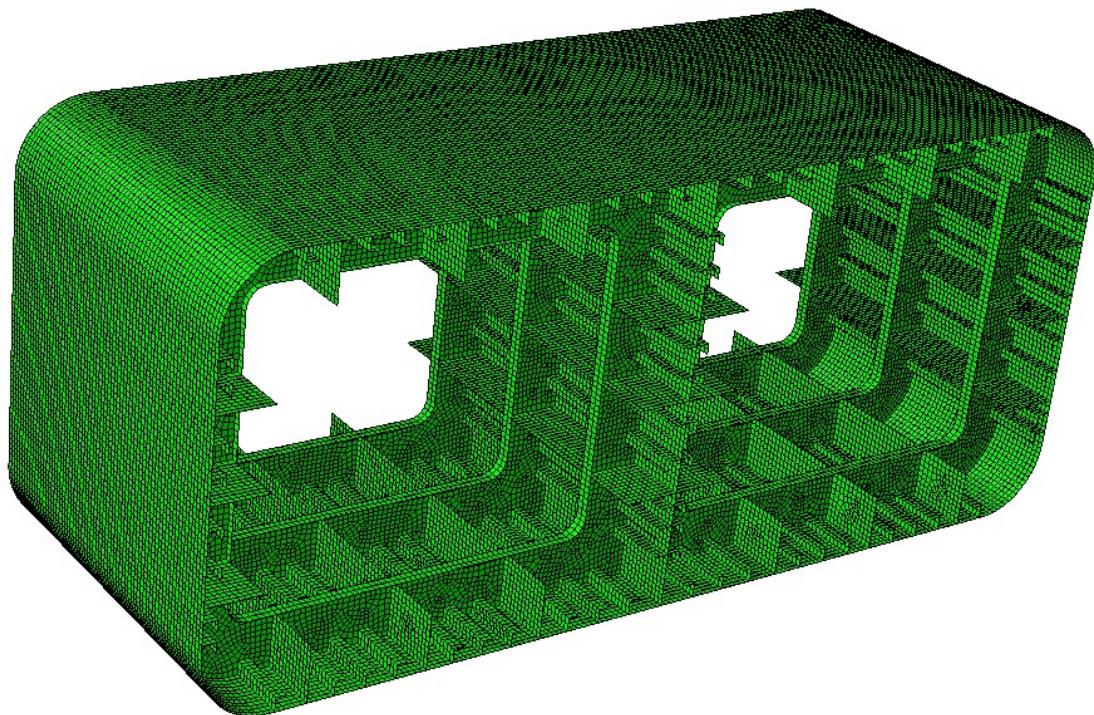


Figura 27: Malha do modelo local.

A malha gerada contou com 98.722 elementos, o que representou um equilíbrio entre a precisão dos resultados e o custo computacional. Essa configuração foi cuidadosamente projetada para reduzir o tempo de processamento sem comprometer a qualidade da análise. Malhas mais refinadas, embora ofereçam maior precisão, resultando em tempos de processamento mais elevados. Assim, a escolha do tamanho do modelo e da densidade da malha foi dimensionada de acordo com a norma DNVGL-CG [55], de maneira a viabilizar as simulações dentro de um prazo aceitável.

De acordo com Okereke [56] apresentam a eficácia do uso de elementos S4R em simulações de colapso estrutural, destacando sua capacidade de fornecer resultados confiáveis em análises não lineares. No entanto, o fator tempo permanece um desafio significativo, especialmente em modelos complexos e com alta densidade de elementos. Para otimizar o desempenho computacional, adotaram-se estratégias de discretização que mantêm a representatividade das regiões críticas, minimizando a quantidade de elementos onde a precisão não é prioritária.

Capítulo 5

Estudo de Caso

Com base no modelo local definido para análise, foram considerados casos de perda de espessura generalizada com reduções de 10, 15 e 20 % em relação à espessura original. Para representar essa redução de forma uniforme, adotou-se, de maneira conservadora, a menor espessura observada na estrutura ao longo de todo o modelo, conforme metodologia já abordada por Fernandes [57].

Os critérios adotados para essas perdas seguem diretrizes técnicas amplamente reconhecidas como descritas por Jin e Bai [58], especialmente no que se refere à consideração dos carregamentos hidrostáticos. Dessa forma, busca-se garantir que a análise respeite os critérios estabelecidos por normas e forneça resultados confiáveis para a tomada de decisão quanto à viabilidade estrutural e à segurança operacional da plataforma em estudo.

Além disso, as margens de perda de espessura servem como parâmetros para investigar o comportamento do material em condições críticas e determinar os limites de resistência da estrutura em cenários degradados. Isso inclui a consideração de efeitos como concentração de tensões, deformações plásticas e colapso local, fatores fundamentais para a avaliação de desempenho para avaliação de conversão.

A análise local de estruturas offshore, como o *pontoon* de plataformas S.Ss, trata-se de uma etapa fundamental no estudo de integridade estrutural, especialmente em cenários que envolvem degradação por corrosão. Nesse trabalho, a corrosão é caracterizada como uma perda de espessura generalizada do material, impactando diretamente na capacidade de carga e no desempenho estrutural do componente. Para este estudo, serão considerados dois cenários principais: o estado standard (sem degradação) e os estados com perdas de espessura generalizada, conforme já mencionado, simulando diferentes níveis de comportamento causados pela corrosão.

5.1 Definição dos Carregamentos

De acordo com as normas DNVGL-OS-C101 [49] e DNVGL-RP-C103 [50], as cargas locais para análise para o carregamento interno nos tanques são obtidas a partir da equação 4.2 e 4.6. A partir dos dados operacionais e dimensões de projeto do modelo analisado, a pressão hidrostática aplicada no modelo foi de $360,5 \text{ kN/m}^2$. A pressão interna aplicada no modelo na região compreendida pelo tanque $425,1 \text{ kN/m}^2$.

Com base nos parâmetros adotados conforme preconizado de acordo com a norma DNVGL-RP-C103 [49], as pressões internas para os casos adotados apresentaram comportamentos pontuais para trechos da estrutura da antepara central que divide o tanque, a pressão interna apresenta magnitude superior a pressão externa, onde o carregamento resultante do tanque submetido a pressão interna e externa se contraporem, preservando a estrutura local do modelo analisado.

A primeira etapa da análise consiste em avaliar a estrutura com os tanques vazios, sendo submetida apenas ao carregamento hidrostático externo como representado na Figura 28. As condições analisadas abordam as perdas de espessura já mencionadas neste estudo, são apresentadas opções para reparo, de maneira a reduzir a concentração de tensões.

Além disso, é realizada uma avaliação do comportamento estrutural frente às pressões hidrostáticas máximas esperadas, garantindo a integridade mesmo nas condições mais severas. A análise considera também a distribuição de tensões ao longo dos pontos críticos da estrutura, identificando regiões suscetíveis a falhas. Deste modo, são simulados diferentes cenários de carregamento para verificar a eficácia das soluções de reparo sugeridas.

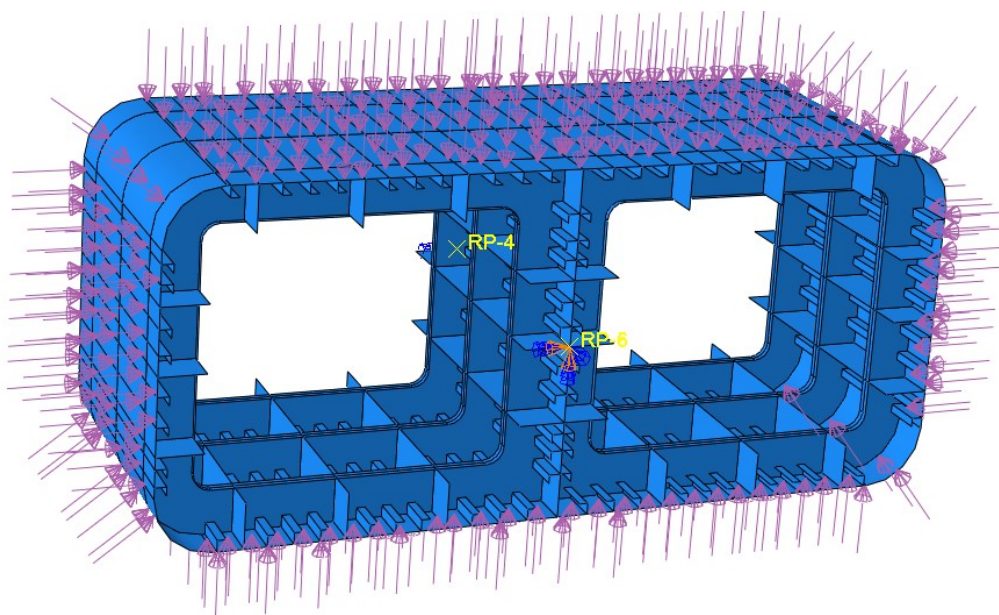


Figura 28: Pressão hidrostática aplicada no modelo local.

As cargas hidrostáticas devido à submersão total dos *pontoons*, para a condição de calado operacional da plataforma, são analisadas para as condições standard e condições aplicadas para perda de espessura apresentada neste estudo.

O modelo analisado com pressão interna, cujo o caso abordado trata da configuração com um tanque cheio e o tanque adjacente vazio, onde a carga aplicada exerce sobre a antepara central, um carregamento adicional, conforme apresentado na Figura 29. Essa configuração maximiza o carregamento aplicado na estrutura local, ressaltando que tal manobra é oriunda do equilíbrio de lastro, onde podem ser abordadas diferentes condições, entretanto segundo a norma-DNVGL-C-103 [50] a pior condição para avaliação consiste no tanque completamente carregado.

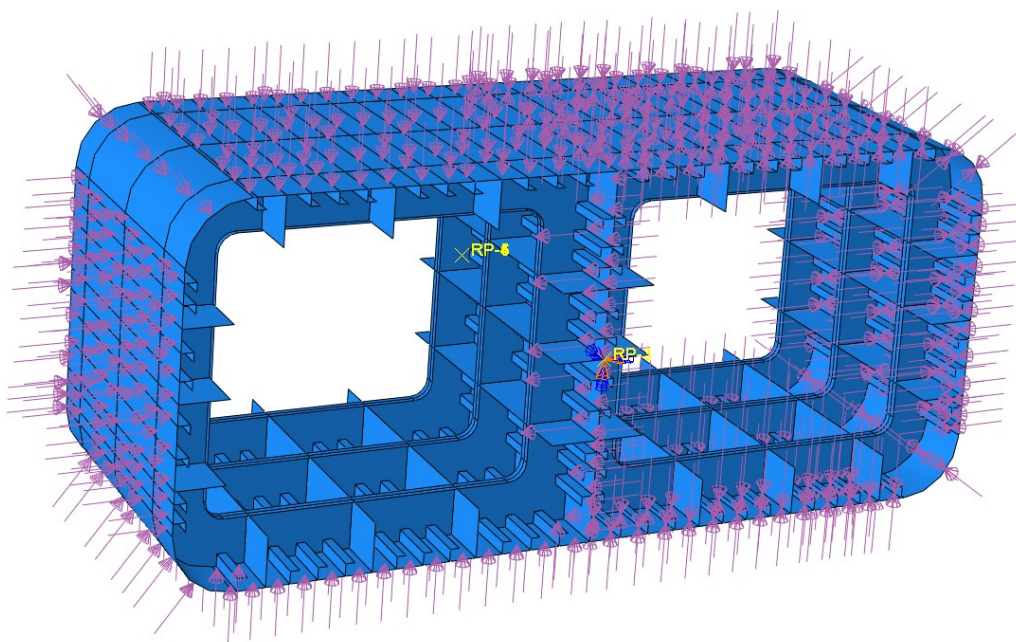


Figura 29: Pressão hidrostática externa e interna aplicadas no modelo.

Os resultados propõem que os níveis de tensões desenvolvidos nas estruturas estejam dentro dos limites especificados pelas regras aplicáveis. A resistência da estrutura proposta para análise deve estar dentro dos limites normativos para esta etapa do estudo. De acordo com a regra do Bureau Veritas (BV) “Rules for the Classification of Offshore Units” [59], o critério adotado de acordo com a equação (5.0) é:

$$\sigma_{adm} \leq \alpha R_e \quad (5.0)$$

Onde R_e é a tensão de escoamento do material, $\alpha = 0,6$ para condição estática, $\alpha = 0,8$ para condição de projeto e $\alpha = 1$ para condição acidental.

Desta forma, temos as seguintes margens de projeto admissíveis:

- Aço especial: $355 \times 0,60 = 213 \text{ N/mm}^2$ (Condição estática)
- Aço especial: $355 \times 0,80 = 284 \text{ N/mm}^2$ (Condição de projeto)
- Aço especial: $355 \times 1,00 = 355 \text{ N/mm}^2$ (Condição acidental)

Para o presente estudo a condição estática é adotada para mensurar e validar o modelo denominado Standard.

No estudo de casos, quatro níveis típicos de modelagem para análise de uma unidade estabilizada por colunas são descritos. A modelagem incluiu abordagens específicas para avaliar o comportamento estrutural de áreas sujeitas a alta concentração de tensões, considerando perdas de espessura em diferentes níveis. Para definir a necessidade de reparos, foram realizadas as seguintes verificações:

- a. Análise de tensões e deformações atuantes nos elementos da área designada com perda de espessura pelo critério de estado limite último.
- b. Verificação se a espessura remanescente da chapa com corrosão atende ao critério de espessura mínima das sociedades classificadoras.

O processamento do modelo local é apresentado para o caso em estudo. Inicialmente, a estrutura padrão (standard) é submetida à análise para estabelecer seu comportamento intacto como referência inicial. Os casos analisados são descritos a seguir com suas respectivas identificações (ID), abrangendo diferentes níveis de perda de espessura.

No caso ID-1.0, considera-se a aplicação de pressão externa em dois cenários de carregamento distintos: um com ambos os tanques vazios e outro com um tanque cheio enquanto o outro permanece vazio. Já no caso ID-2.0, adota-se as mesmas condições de carregamento do ID-1.0, porém com a continuidade da aplicação de pressão para simular variações operacionais específicas. Essas configurações e suas respectivas análises estão detalhadas na Tabela 5.1, que organiza e sintetiza os parâmetros e abordagens empregados em cada ID avaliado.

Tabela 5.1: Identificação (ID) de Casos

Caso	P (Externa)	P (Interna)	M (Momento)	t (Espessura)
ID-1.0	Ok	0	0	Std
ID-1.1	Ok	Ok	0	Std
ID-1.2	Ok	0	0	10%
ID-1.3	Ok	Ok	0	10%
ID-1.4	Ok	0	0	15%
ID-1.5	Ok	Ok	0	15%
ID-1.6	Ok	0	0	20%
ID-1.7	Ok	Ok	0	20%
ID-2.0	Ok	0	Ok	Std
ID-2.1	Ok	Ok	Ok	Std
ID-2.2	Ok	0	Ok	10%
ID-2.3	Ok	Ok	Ok	10%
ID-2.4	Ok	0	Ok	15%
ID-2.5	Ok	Ok	Ok	15%
ID-2.6	Ok	0	Ok	20%
ID-2.7	Ok	Ok	Ok	20%

5.2 Modelo Submetido a Pressão Externa

O presente caso, denominado ID-1.0, aborda o comportamento estrutural do modelo local do *pontoon* submetido à aplicação de pressão hidrostática, considerando todos os tanques internos vazios. Essa configuração representa uma condição operacional específica em que a estrutura está exposta apenas às forças hidrostáticas externas, sem a influência adicional de cargas internas provenientes do armazenamento de fluidos.

Para esta análise, foram considerados o modelo standard caso ID-1.0 e os demais caso com redução de espessura de 10, 15 e 20%, conforme descrito na Tab 5.1 para os casos ID-1.2, 1.4 e 1.6. O objetivo é avaliar a distribuição de tensões e identificar possíveis regiões críticas na estrutura do *pontoon* sob as condições apresentadas.

5.2.1 Modelo Padrão (STANDARD)

Para esta análise, foram consideradas as espessuras originais da estrutura, seguindo as especificações do projeto da plataforma. Essa abordagem permite estabelecer uma referência padrão para comparação com os demais modelos que apresentam diferentes níveis de perda de espessura devido à corrosão.

A Figura 30 apresenta a distribuição das espessuras conforme o projeto original, ser-

vindo como base para a avaliação dos efeitos estruturais decorrentes das variações geométricas e das cargas aplicadas nos modelos subsequentes.

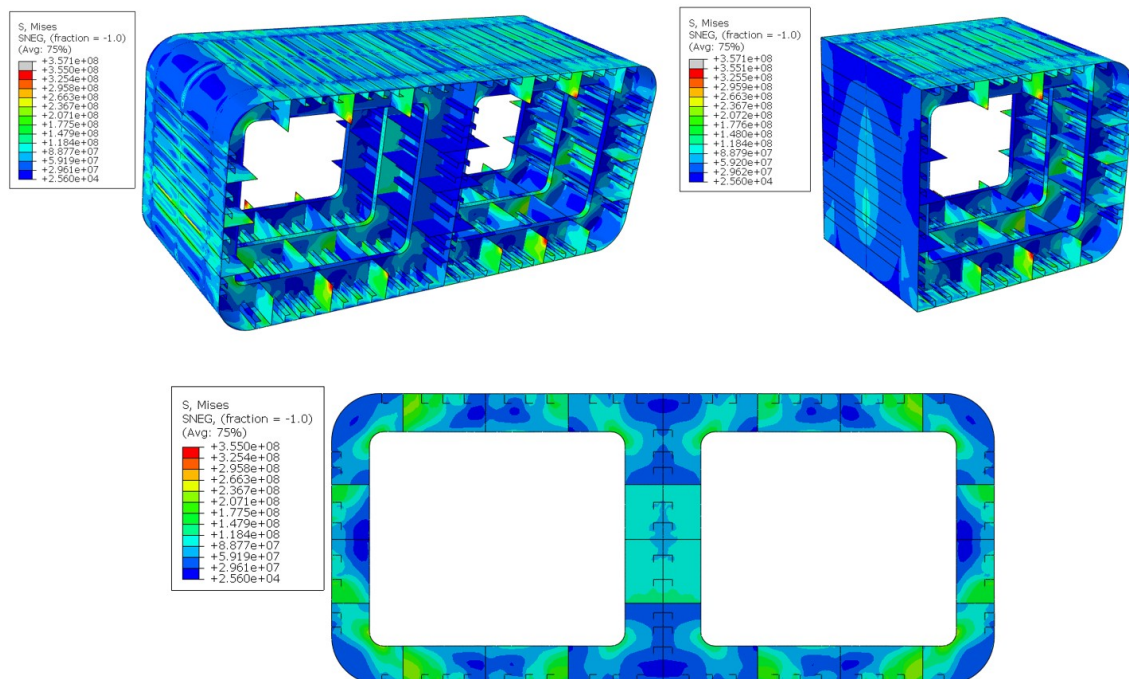


Figura 30: Caso ID-1.0, Modelo standard submetido a pressão externa, com tanques vazios.

Os resultados referentes ao modelo standard seguem dentro dos critérios estabelecidos por norma, conforme preconizado de acordo com o preconizado pela norma Bureau Veritas [57].

5.2.2 Perda de Espessura de 10%

Os resultados obtidos no caso ID-1.2, considerando uma perda de espessura de 10%, evidenciaram pontos de concentração de tensões aos quais a estrutura está submetida. Essas informações permitem identificar regiões críticas onde reforços estruturais podem ser necessários, bem como áreas com potencial risco à integridade da estrutura. Com base nos resultados dessa etapa foram obtidos subsídios para o levantamento de reparos e manutenção preventiva para o modelo local pontoon analisado, conforme apresentados na Figura 31.

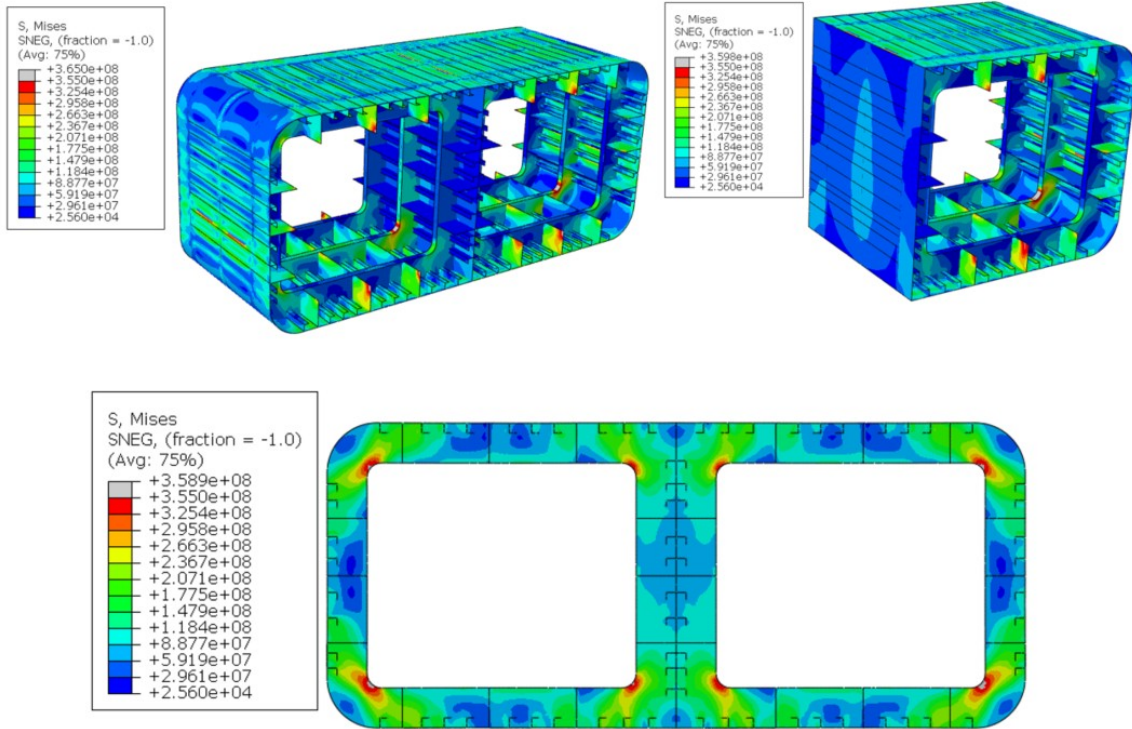


Figura 31: Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.2.

5.2.3 Perda de Espessura de 15%

A avaliação para a condição de perda de espessura generalizada de 15% nos elementos estruturais do modelo local do *pontoon* foi realizada para representar um estágio mais avançado do nível de corrosão. A análise foi conduzida utilizando os mesmos critérios de carregamento hidrostático e operacionais estabelecidos para o modelo com perda de espessura do caso ID-1.2, permitindo uma avaliação progressiva dos efeitos da corrosão. Essa abordagem procura verificar a consistência metodológica e possibilitar a comparação direta entre o modelo standard e os demais graus de degradação estrutural, avaliados neste estudo.

Os resultados revelaram um aumento das concentrações de tensão nas áreas previamente identificadas como críticas, incluindo regiões de transição geométrica, conexões estruturais e pontos específicos do chapeamento do *pontoon*. Além disso, a redistribuição das cargas estruturais devido à redução de espessura resultou na progressão dos pontos de concentração de tensão, conforme apresentado na Figura 32. Os resultados apresentados indicam a necessidade de reforços localizados mantendo a integridade estrutural.

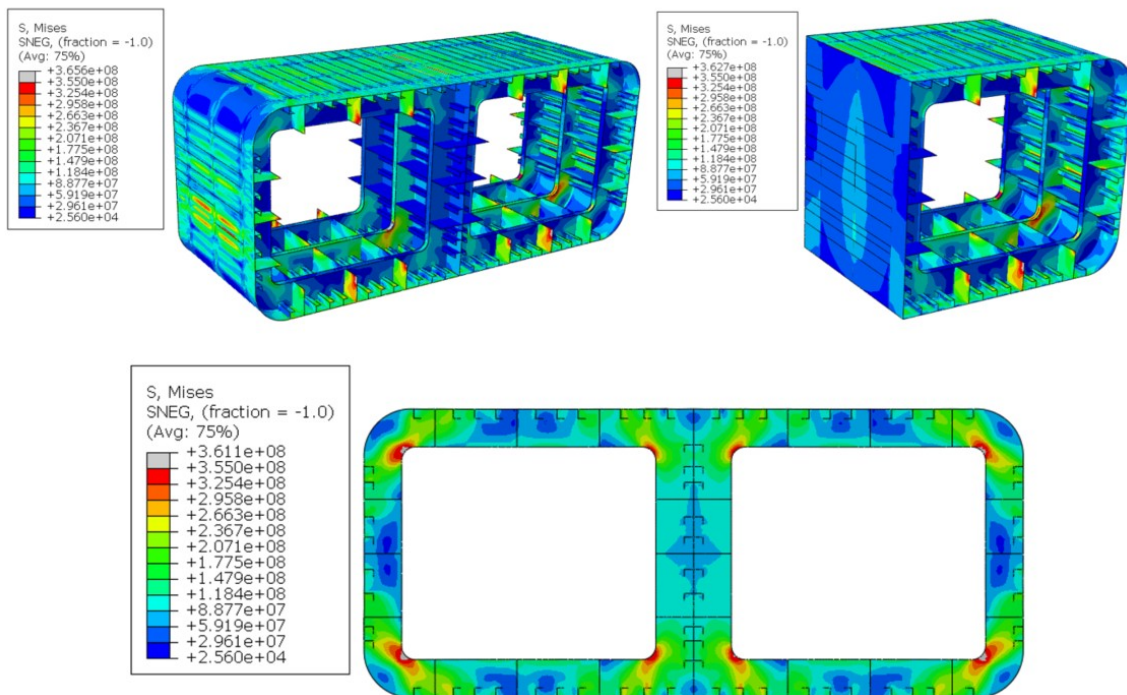


Figura 32: Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.4.

A análise não linear também evidenciou que o comportamento da estrutura apresentou maior suscetibilidade à redistribuição de tensões, refletindo em uma diminuição expressiva da capacidade de carga local do *pontoon*. Esse resultado destaca a importância de estratégias de mitigação que considerem as zonas de maior vulnerabilidade estrutural para garantir a estabilidade e segurança da estrutura.

5.2.4 Perda de Espessura de de 20%

O caso ID-1.6 avalia o impacto de uma perda de espessura generalizada de 20% nos elementos estruturais do *pontoon*, representando o estágio mais avançado de corrosão considerado neste trabalho. Mantiveram-se os mesmos critérios de carregamento e condições de contorno aplicados nos casos anteriores, permitindo uma análise comparativa e progressiva dos efeitos da deterioração estrutural. Essa abordagem visa identificar as consequências desse nível de degradação, com destaque para áreas críticas que necessitam de reforços e ações preventivas.

Com o aumento da perda de espessura, observou-se uma redistribuição significativa das tensões ao longo da estrutura, resultando em elevação dos valores máximos registrados em comparação ao cenário de 15% de corrosão. Embora algumas regiões ainda respeitem os limites de escoamento do material, trechos específicos de transição apresentaram tensões superiores a esses limites, sobretudo em zonas submetidas a maiores esforços estruturais. Os dados evidenciam a importância de intervenções direcionadas

para mitigar os riscos associados à degradação avançada, conforme ilustrado na Figura 33.

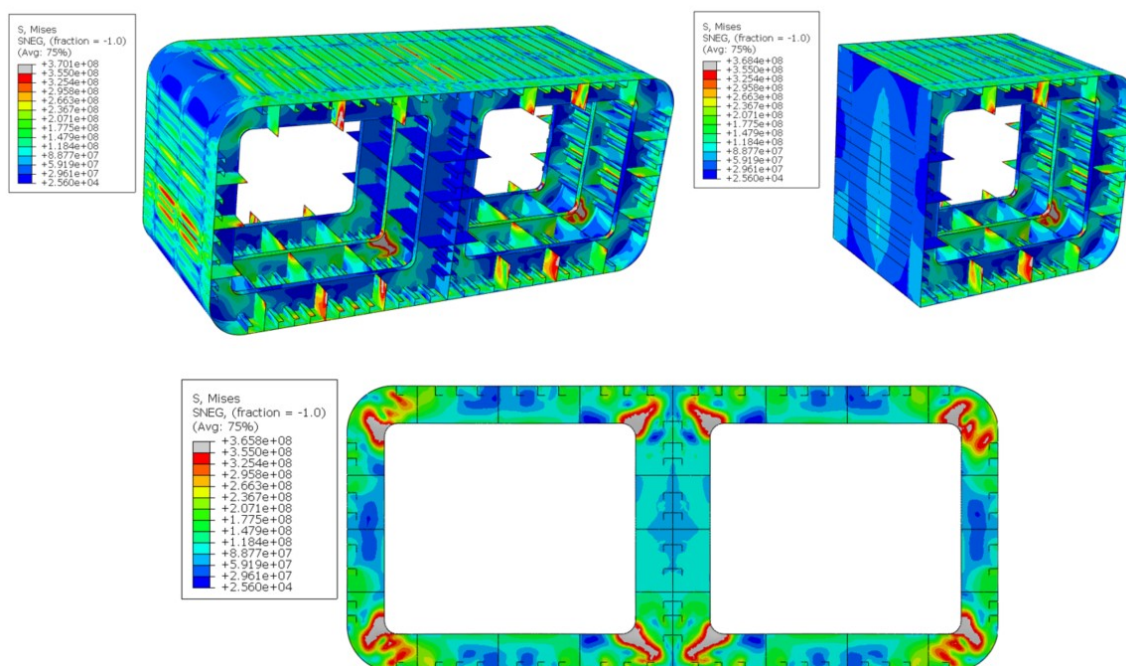


Figura 33: Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 20% – Caso ID-1.6.

A análise não linear também mostrou que o comportamento da estrutura se tornou ainda mais sensível às deformações, sugerindo uma redução significativa na capacidade de carga global e local do *pontoon*.

5.3 Modelo Submetido à Pressão Externa e Pressão Interna no Tanque

O presente caso analisa o comportamento estrutural do modelo local submetido a aplicação simultânea de pressão externa e pressão interna nos elementos estruturais do *pontoon* com tanque completamente cheio e o respectivo tanque adjacente vazio, como abordado para os casos ID-1.1, 1.3, 1.5 e 1.7. Para esta análise, são mantidas as mesmas premissas utilizadas nos casos anteriores submetidos somente a pressão externa.

Esse cenário foi projetado para simular condições compatíveis com as de operação, como aquelas encontradas em situações de carregamento hidrostático combinado com o armazenamento de fluidos nos tanques, para os casos abordados os carregamentos aplicados simulam a utilização de lastro no respectivo tanque.

5.3.1 Modelo Padrão (STANDARD)

O presente caso aborda a condição standard, mantendo a configuração com espessuras originais conforme projeto inicial da plataforma. Os resultados do modelo standard apresentam uma distribuição uniforme de tensões ao longo da estrutura, com concentrações localizadas em pontos específicos, como regiões de transição geométrica e áreas de conexão estrutural. Observa-se que essas tensões permanecem dentro dos limites aceitáveis conforme preconizado pelo BV [59], demonstrando que a configuração inicial é capaz de suportar as condições de pressão aplicadas sem comprometimento da integridade conforme apresentado na Figura 34.

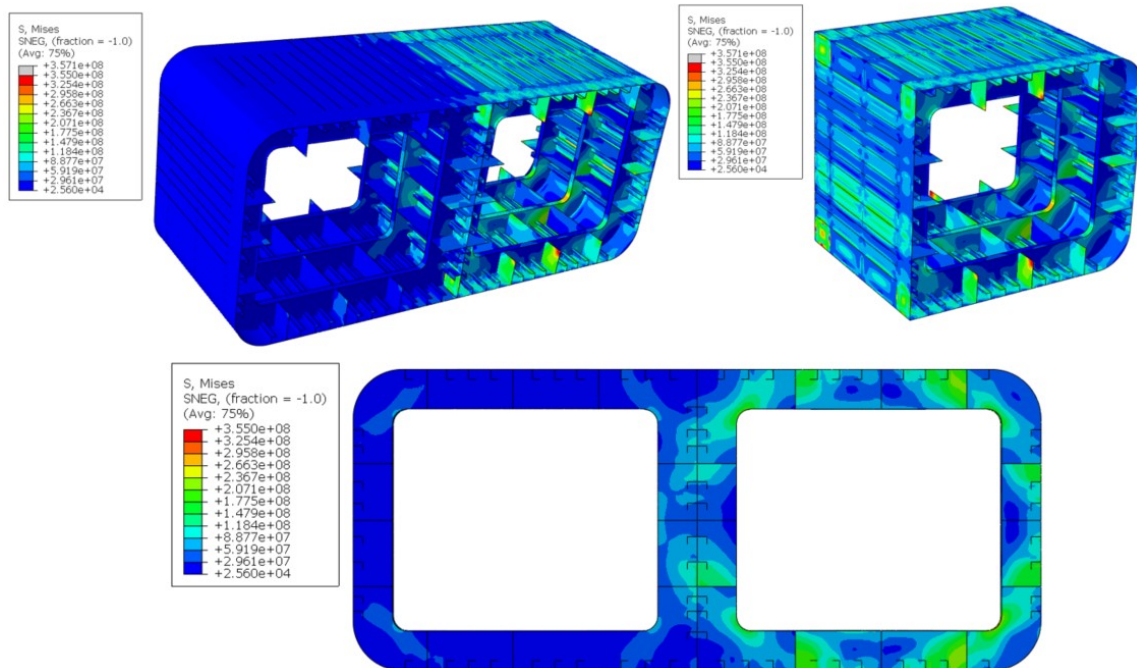


Figura 34: Caso ID-1.1 Modelo standard submetido a pressão externa, com tanque completamente cheio.

Os dados obtidos para tensões e deformações no modelo standard oferecem parâmetros comparativos para os demais casos. Isso permite identificar as alterações nos padrões de comportamento estrutural à medida que a perda de espessura é introduzida.

5.3.2 Perda de espessura 10%.

O caso ID-1.3 considera a redução de 10% na espessura do chapeamento, analisando os efeitos dessa degradação na integridade da estrutura. Mantiveram-se as mesmas condições de carregamento do caso ID-1.1, incluindo a aplicação de pressões externa e interna. A redução de espessura foi aplicada uniformemente, adotando-se uma abordagem conservadora para simular uma distribuição homogênea do fenômeno corrosivo.

Essa abordagem avalia os impactos de uma corrosão distribuída de maneira uniforme, proporcionando um cenário extremo das condições que a estrutura pode enfrentar ao longo do tempo. Ao manter os critérios de avaliação idênticos aos do modelo original, garantimos uma base de comparação direta e confiável entre a estrutura intacta e a condição degradada, conforme ilustrado na Figura 35.

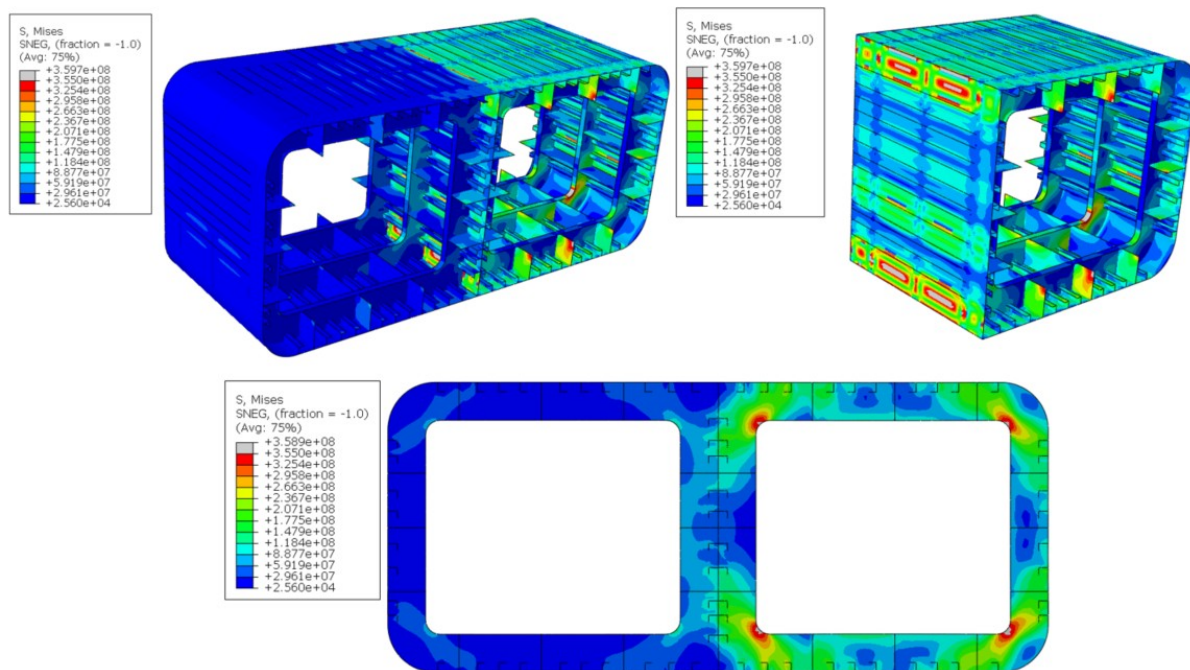


Figura 35: Caso ID-1.3 Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 10% – Caso ID-1.3.

Os resultados obtidos apresentaram concentrações de tensões na antepara central, mais especificamente nas regiões superiores e inferiores, onde ocorre a transição entre o chapeamento de topo e chapeamento do fundo.

5.3.3 Perda de Espessura 15%

O caso ID-1.5 foi ajustado para incorporar uma perda de espessura de 15% no chapeamento, simulando um cenário de corrosão mais acentuada. Esse modelo foi submetido às mesmas condições de carregamento aplicadas nos casos ID-1.1 e ID-1.3.

A redução de espessura foi implementada de forma generalizada em todas as chapas do modelo, de maneira conservadora, onde apresenta de forma uniforme o nível de corrosão da estrutura analisada. Os critérios de avaliação permaneceram os mesmos do caso standard, permitindo uma análise comparativa direta entre a condição original e a condição degradada como apresentado a seguir na Figura 36.

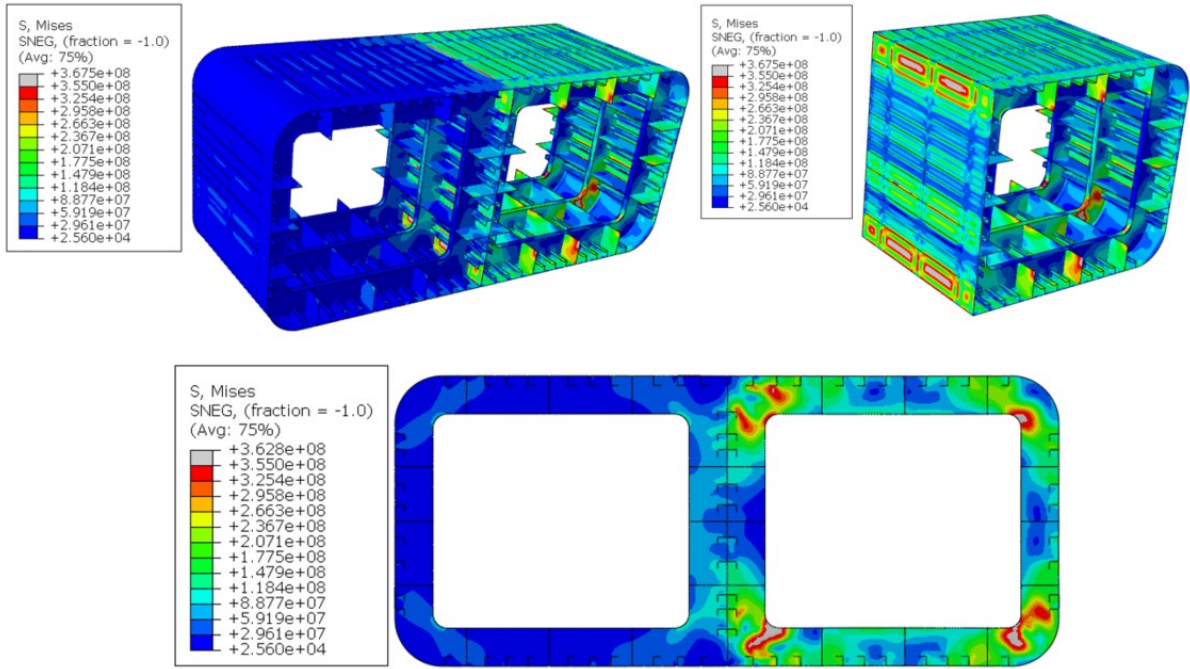


Figura 36: Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 15% – Caso ID-1.5.

5.3.4 Perda de Espessura 20%.

No caso ID-1.7, o modelo considera uma perda de espessura generalizada de 20%. Esta configuração adota às mesmas condições de pressão externa e interna utilizadas nos casos anteriores ID-1.1, ID-1.3 e ID-1.5. O propósito desta avaliação consiste em analisar o comportamento da estrutura para um estado de deterioração mais severo, simulando cenários que podem ocorrer em fases avançadas da vida útil da estrutura, como apresentado na Figura 37.

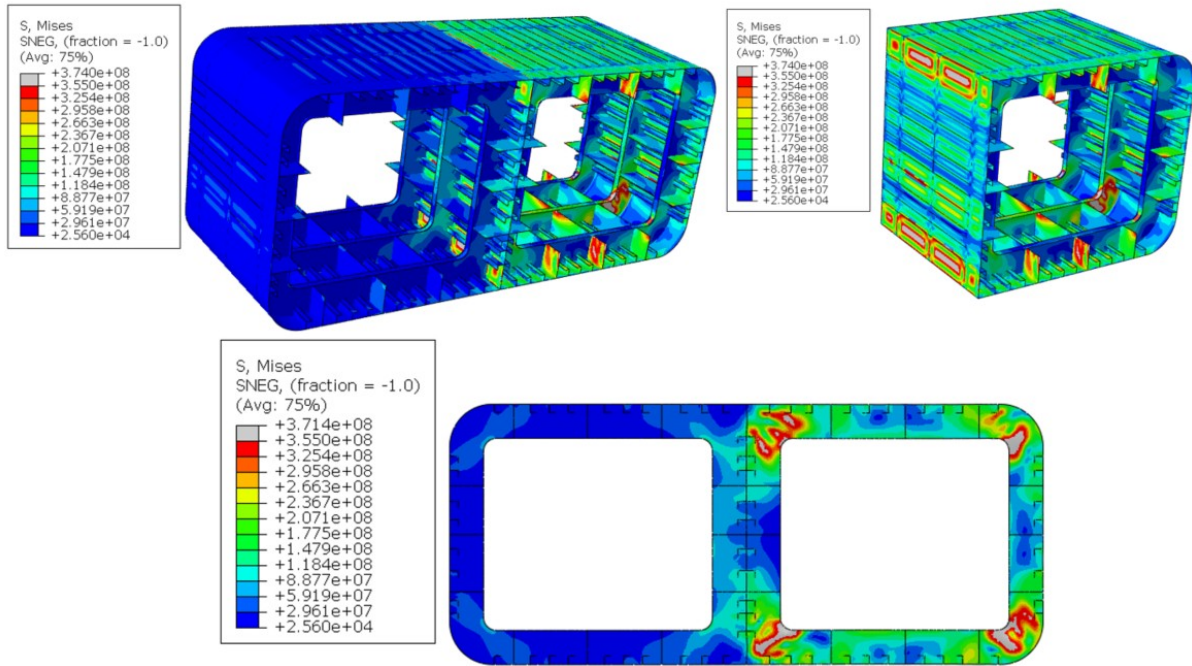


Figura 37: Configuração de Perda de Espessura Uniforme de 20% – Caso ID-1.7.

Os resultados indicaram um aumento significativo nas tensões concentradas em áreas críticas da antepara já evidenciadas nos casos anteriores, como também as regiões de transição geométrica e conexões estruturais. A redistribuição das cargas devido à redução de espessura resultou em uma intensificação das tensões nas regiões de maior solicitação, agravando os efeitos de concentração de tensão.

5.4 Avaliação da Resistência Última da Estrutura Local Para as Condições Standard e com Perdas de Espessura.

A avaliação da resistência última aplicada a estrutura local do *pontoon* foi conduzida considerando suas configurações de pressão previamente estabelecidas no modelo para o caso ID-2.0 abordando a condição standard. Os demais casos avaliados (ID-2.0 a ID-2.7) englobam diferentes cenários de perda de espessura, permitindo a avaliação das imperfeições estruturais induzidas quando submetida a flexão.

Foram considerados os efeitos combinados da aplicação de momento último e das configurações de pressão externa, bem como a condição com um tanque cheio (pressão interna). Essa análise possibilitou a identificação de variações na resistência última em função das reduções de espessura, fornecendo subsídios para estratégias de mitigação e reforço da estrutura.

5.5 Modelo Submetido à Pressão Hidrostática e Carregamento Último

A presente análise aborda a condição do modelo submetido ao momento de resistência última, para a condição com tanques vazios e sujeito a atuação pressão hidrostática, utilizando as condições de perda de espessura generalizada para os casos ID-2.0, 2.2, 2.4 e 2.6 do presente estudo. A seguir, é apresentado o gráfico com o comportamento estrutural para cada um dos casos analisados conforme ilustrado na Figura 38.

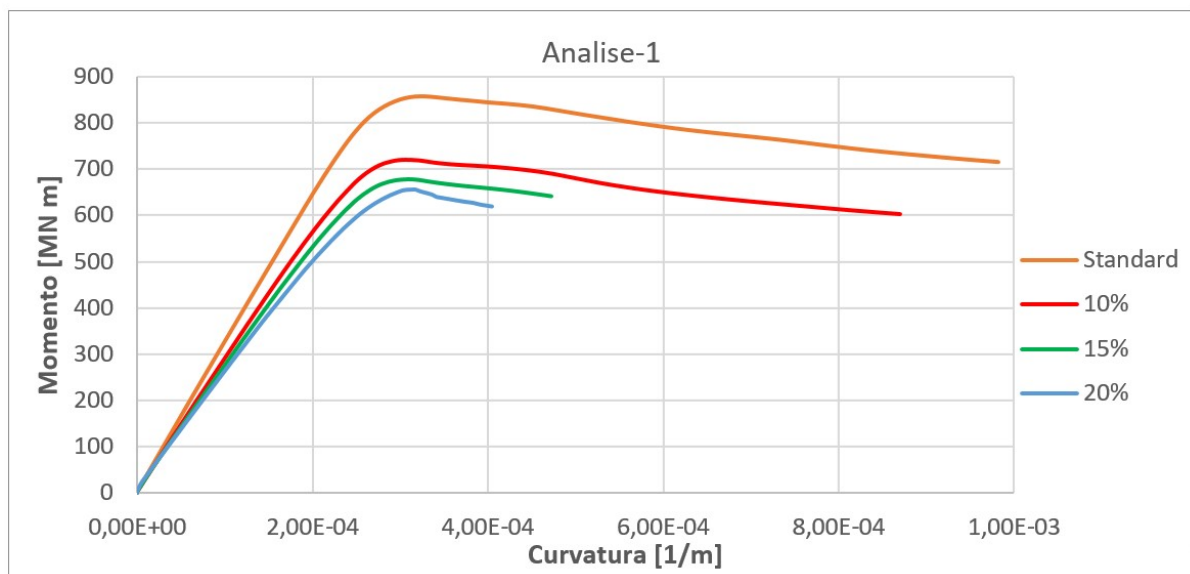
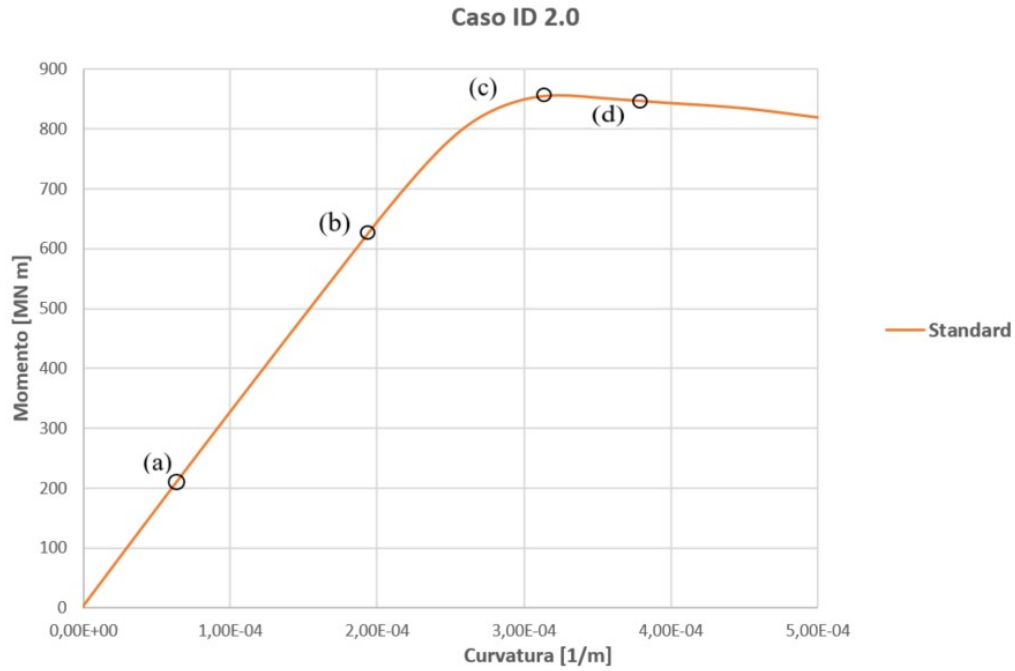


Figura 38: Gráfico correspondente ao modelo submetido a pressão hidrostática e momento último.

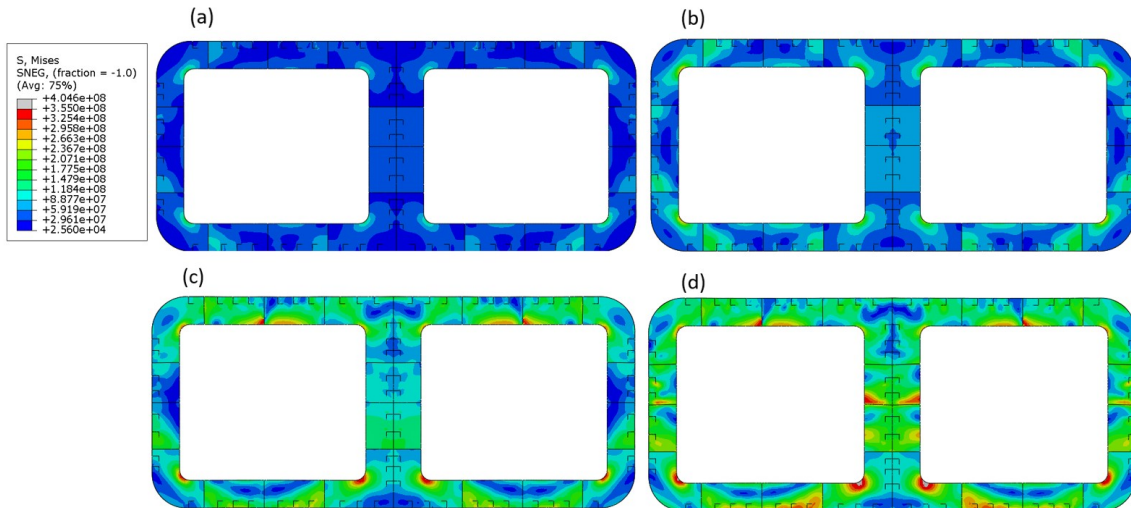
5.5.1 Análise Realizada para o Modelo com Tanques Vazios Submetidos à Flexão.

5.5.2 Modelo Padrão (STANDARD)

O caso ID-2.0 é analisado conforme o padrão original de fabricação, ou seja, sem perdas de espessura. Com o modelo denominado de standard, a estrutura apresenta o comportamento de acordo com os dados expostos pelo gráfico conforme apresentado nas Figuras 39a e 39b, onde os respectivos pontos apresentados no gráfico são representados na caverna do *pontoon*.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,17\text{E}+04$ 1/m.



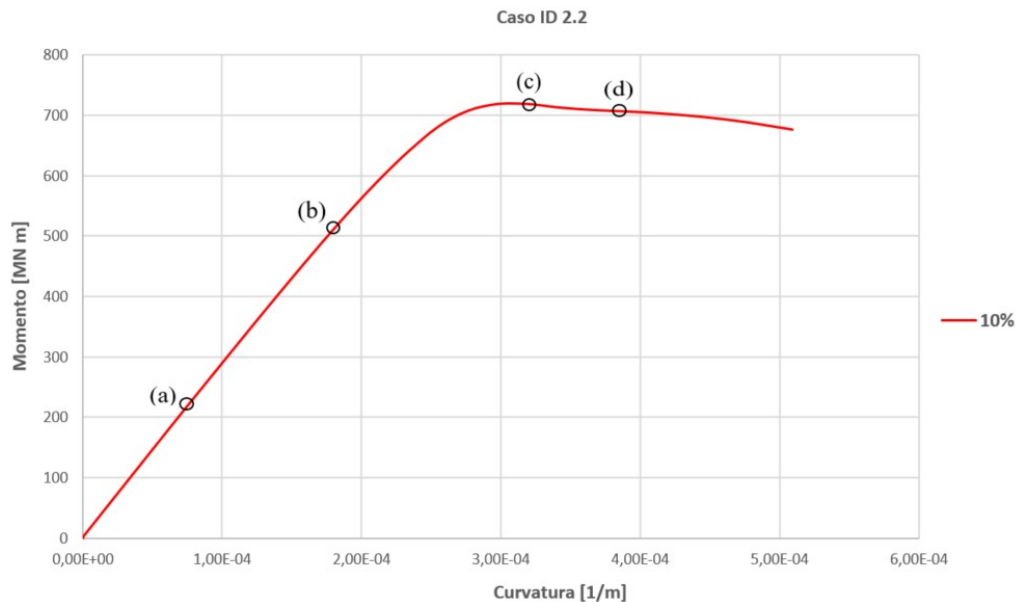
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.0.

Figura 39: Figura 38: (a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,17\text{E}+04$ 1/m; (b) Seção da caverna para o caso ID-2.0.

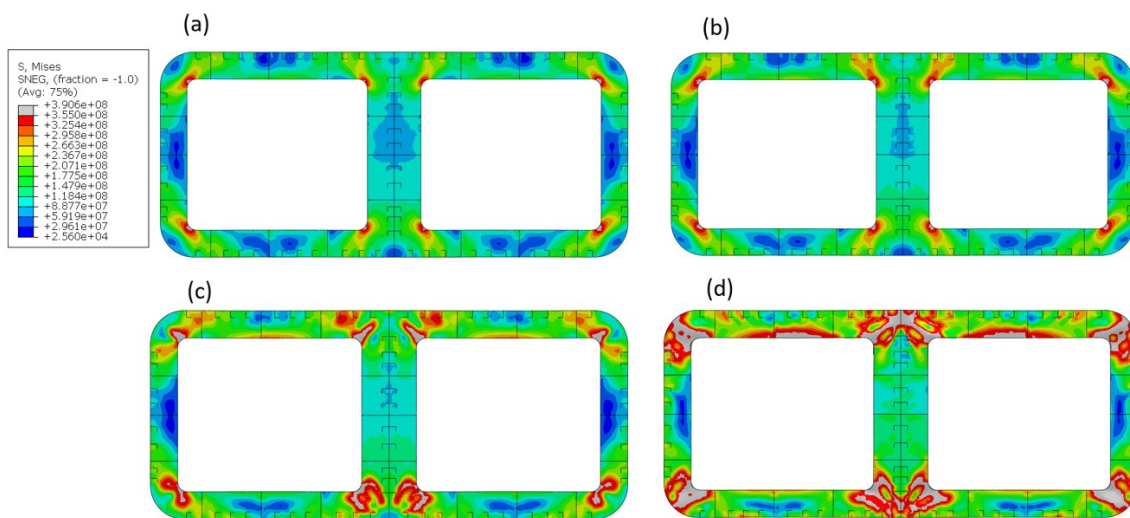
5.5.3 Perda de Espessura de 10%.

O caso ID-2.2 aborda o modelo com perda generalizada de 10% de espessura, apresentando o comportamento estrutural do modelo local de modo a identificar os pontos de concentração de tensão, destacando as regiões mais suscetíveis a esforços excessivos. Com base no gráfico apresentado, é possível visualizar os respectivos estágios de acentuação do momento em relação à curvatura, permitindo uma análise detalhada da progressão dos esforços ao longo da estrutura.

A redução da espessura, evidencia áreas críticas conforme apresentado nas Figuras 40a e 40b, observa-se o comportamento da caverna, onde a distribuição das tensões e deformações indicam a necessidade de inspeção da estrutura e a respectiva substituição de trechos do chapeamento degradado além da implementação de reforços locais na estrutura.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,30E+04$ 1/m.



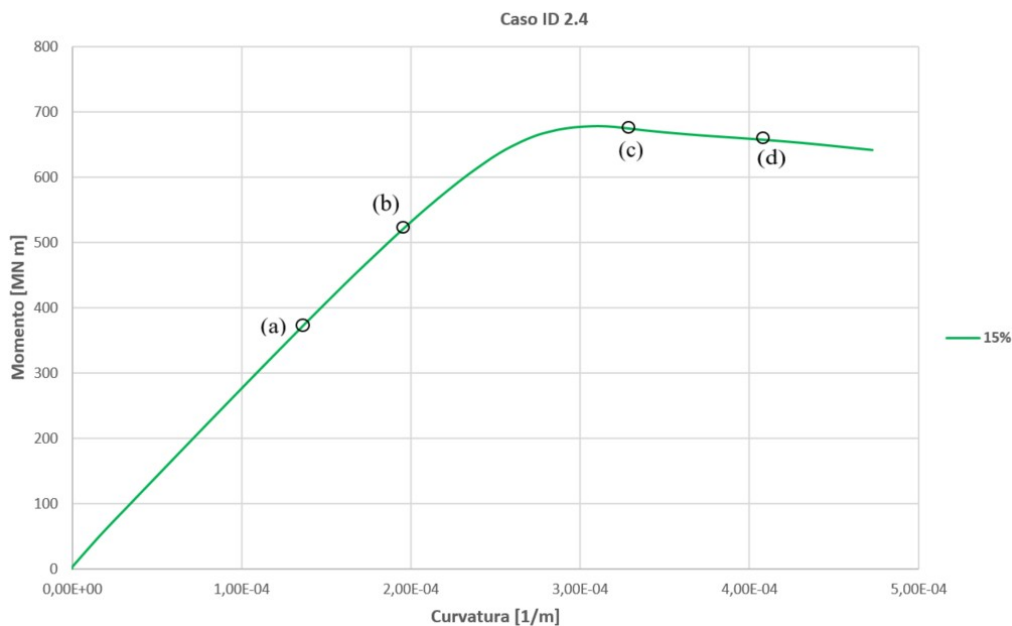
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.2.

Figura 40: (a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,30E+04$ 1/m;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.2.

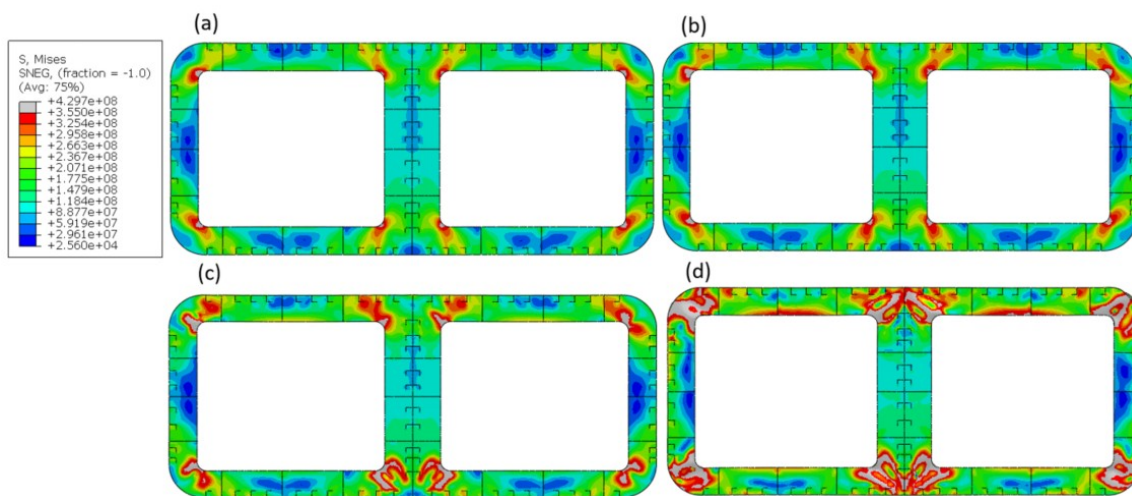
5.5.4 Perda de Espessura 15%

No caso ID-2.4 aborda uma perda generalizada de 15% de espessura, o comportamento estrutural do modelo apresenta conforme ilustrado pelas Figuras 41a e 40b, os pontos críticos indicados que refletem um aumento nas deformações e tensões localiza-

das, particularmente nas regiões que ocasionam concentração de tensão nas cavernas do *pontoon*.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,30E+04$ 1/m.



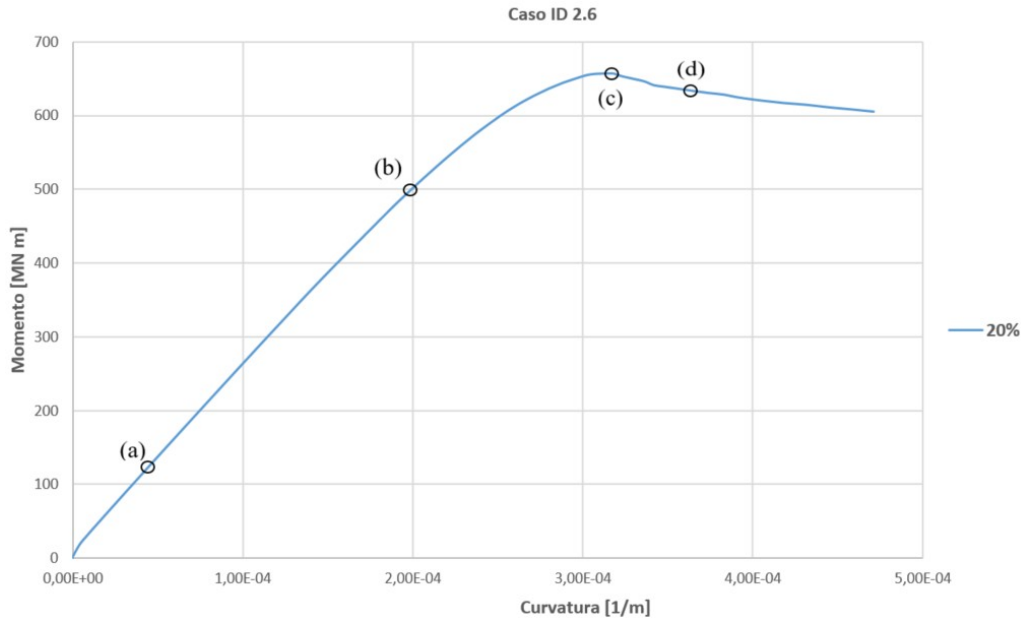
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.4.

Figura 41: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,30E+04$ 1/m.;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.4.

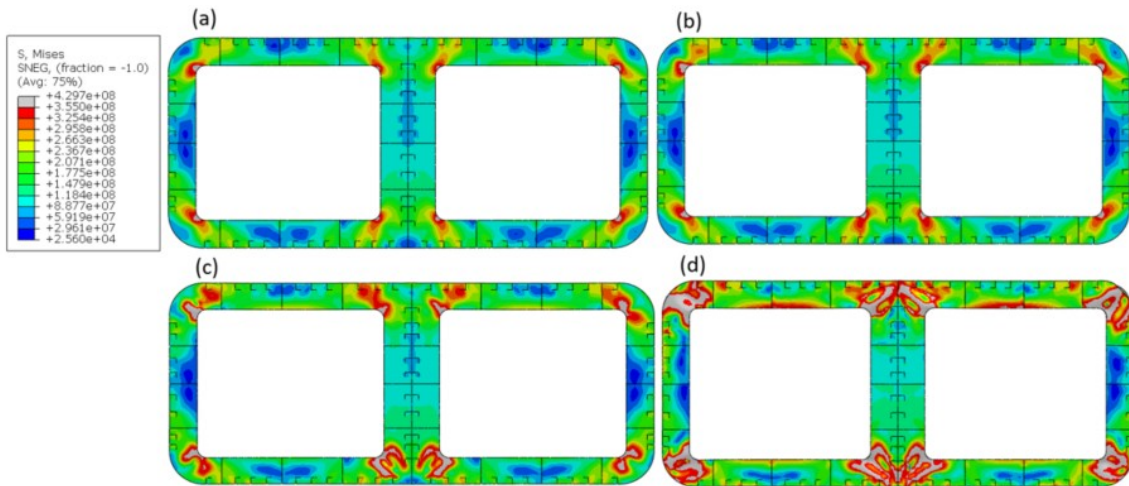
5.5.5 Perda de Espessura 20%

O caso ID-2.6 analisado para uma perda generalizada de 20% de espessura, o comportamento estrutural do modelo é apresentado conforme apresentado nas Figuras 42a e 42b. A análise revela um aumento significativo nas deformações e nas concentrações de tensões, especialmente nas regiões de bordas internas, onde os efeitos de concentração são mais pronunciados.

A curva mostra que, em comparação com o modelo de 15% de perda, o modelo de 20% apresenta um declínio mais acentuado no momento resistente após o pico, indicando menor capacidade estrutural para suportar cargas extremas. Essa condição ressalta a necessidade de reforços estruturais imediatos e um plano de manutenção rigoroso, incluindo inspeções frequentes, para garantir a integridade estrutural e prevenir falhas catastróficas.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,36 \times 10^4$ 1/m.



(b) Seção da caverna para o caso ID-2.6.

Figura 42: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,36 \times 10^4$ 1/m.;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.6.

5.6 Modelo com Tanque Vazio e Tanque Cheio, Submetido a Carregamento Último

A análise do segundo caso consiste no modelo submetido ao momento de resistência última considera a atuação combinada de pressão hidrostática, pressão interna e carregamento último. A condição adotada abarca os casos ID-2.1, 2.3, 2.5 e 2.7. O gráfico a seguir ilustra o comportamento estrutural para cada uma das condições analisadas, conforme mostrado na Figura 43.

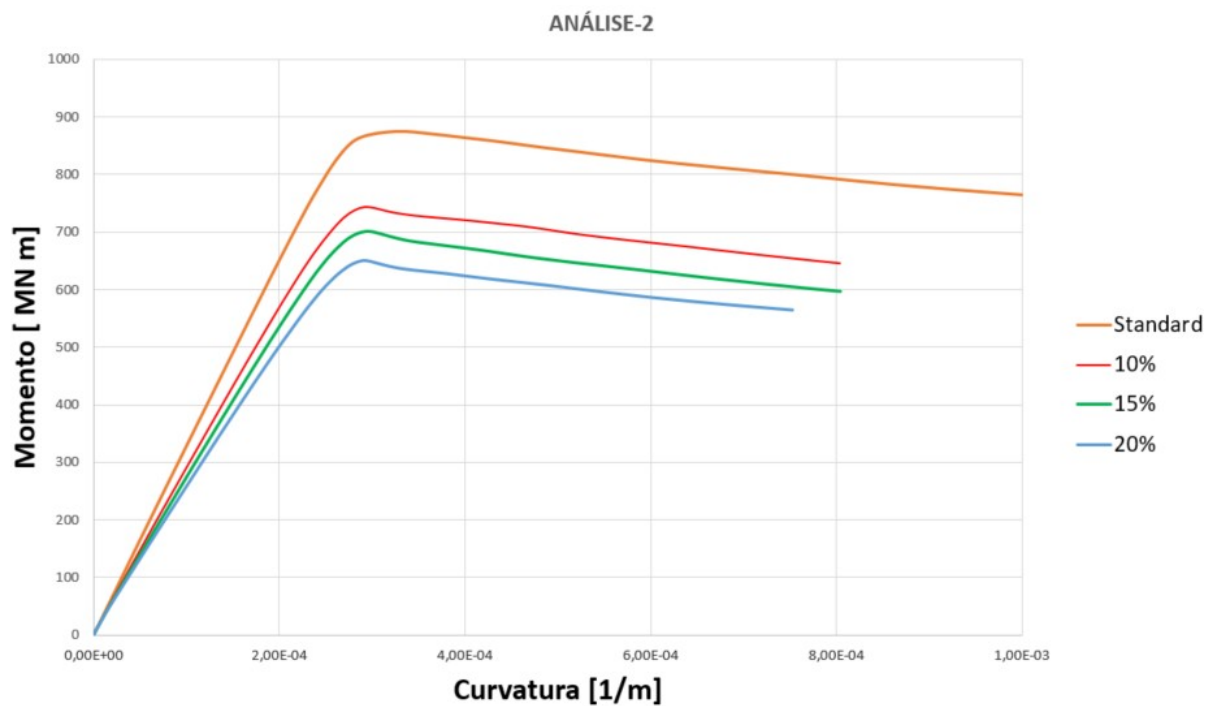
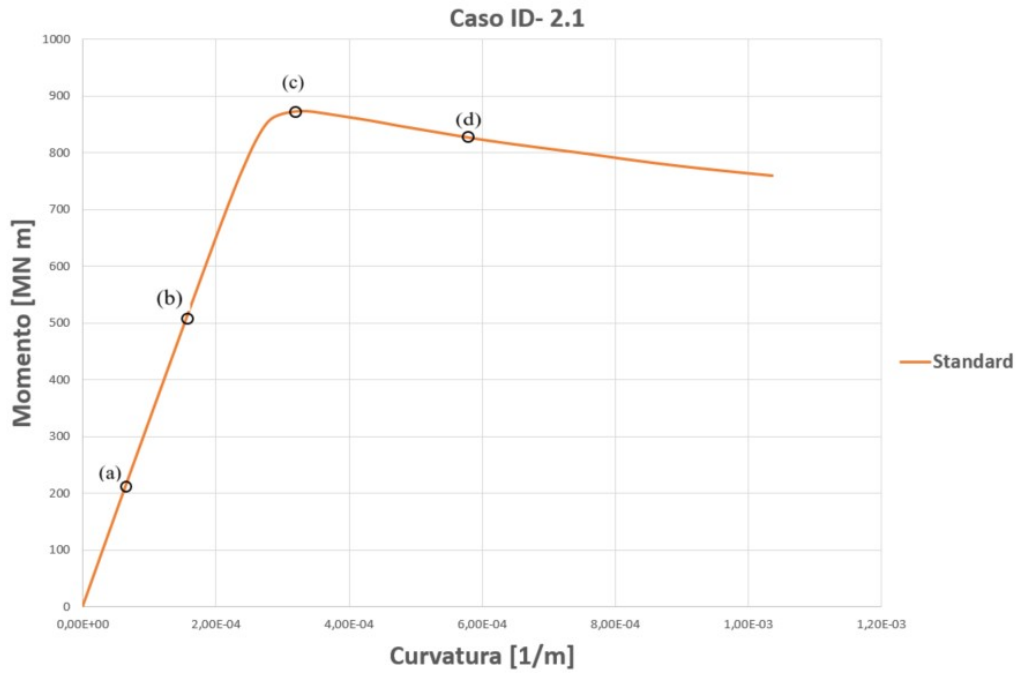


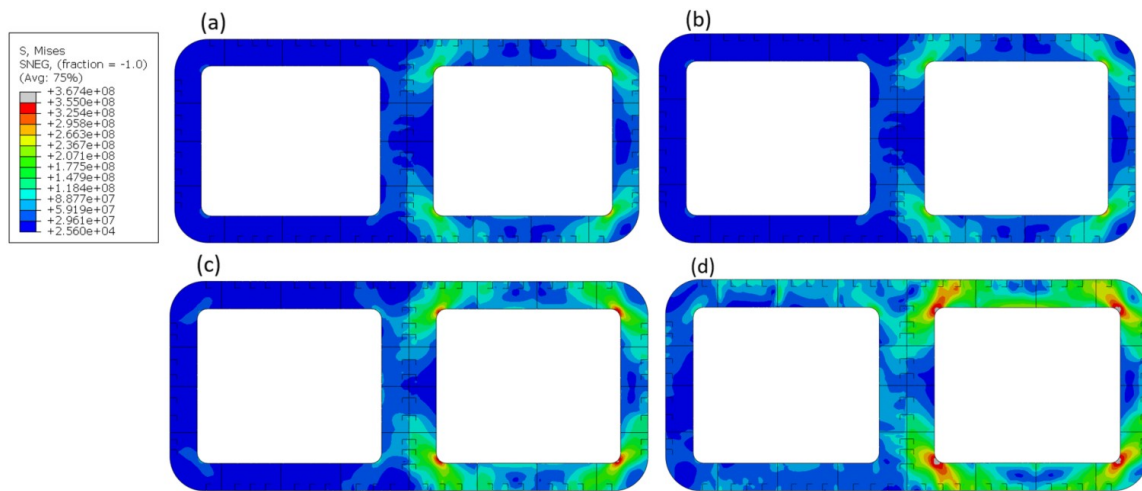
Figura 43: Gráfico correspondente ao modelo submetido a pressão hidrostática, pressão interna e momento último.

5.6.1 Modelo Padrão STANDARD

O caso ID-2.1 apresenta a maior capacidade de momento resistente, com uma resposta estrutural adequada de acordo com o apresentado pelo gráfico, conforme ilustrado nas Figuras 44a e 44b, onde a inclinação na curva após atingir o pico mostra a perda de resistência da estrutura. A pressão interna altera o comportamento do modelo estrutural, no bordo onde a pressão é aplicada, essa pressão adicional atua no sentido oposto à pressão externa, promovendo tensões mais complexas, com uma distribuição que combina compressão externa e tração interna.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,26 \times 10^4$ 1/m.



(b) Seção da caverna para o caso ID-2.1.

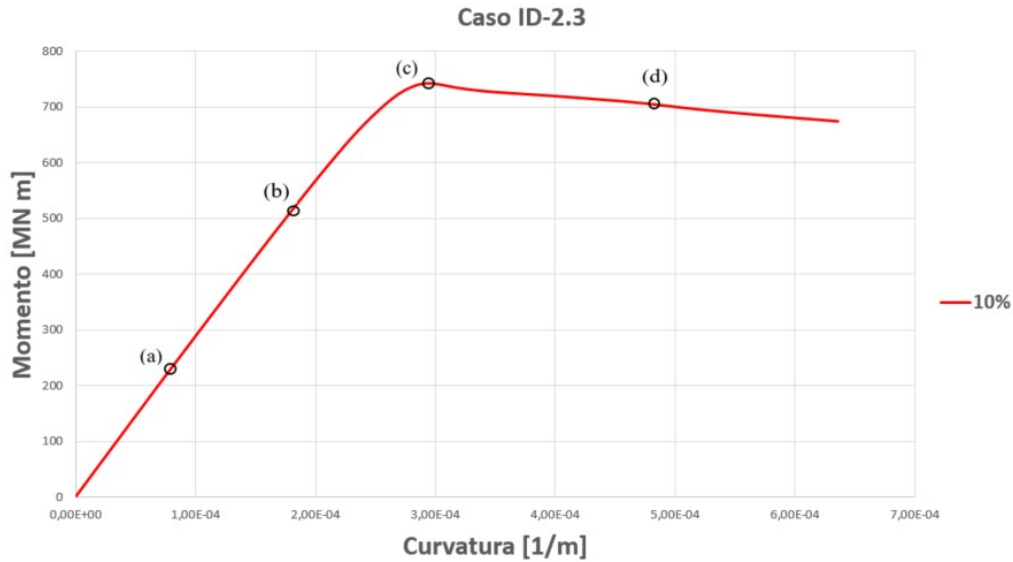
Figura 44: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,26 \times 10^4$ 1/m.;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.1.

5.6.2 Perda de Espessura 10%.

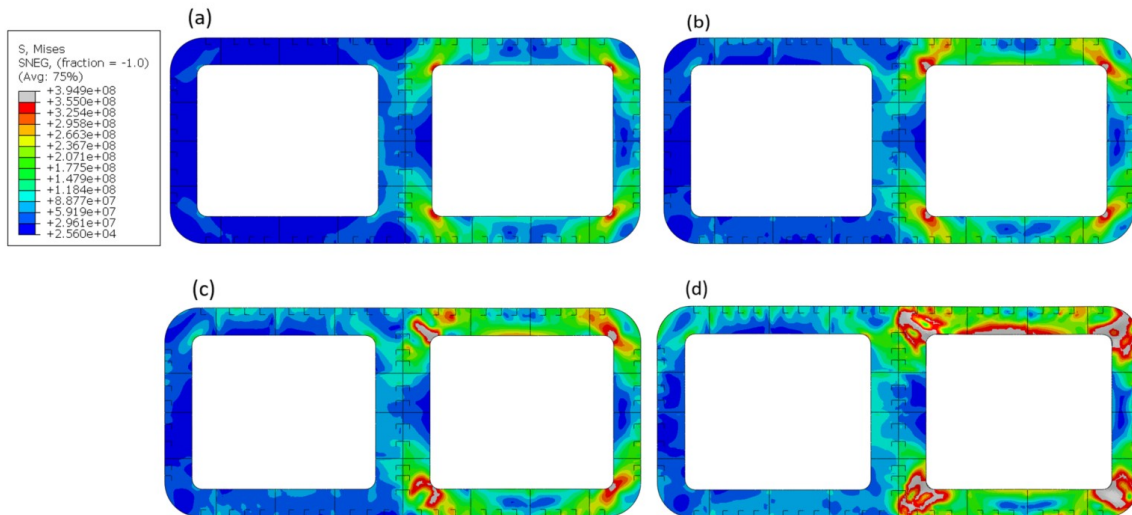
O caso ID-2.3 aborda o modelo com perda de espessura de 10%, onde apresenta uma capacidade de momento resistente reduzida em comparação ao caso ID-2.1, o que reflete na degradação estrutural causada pela redução da seção efetiva dos elementos. Essa diminuição resulta em uma curva com inclinação mais acentuada após o pico de resistência. A pressão interna, e os efeitos tornam-se ainda mais significativos no modelo com perda de espessura, a pressão interna continua a induzir tensões de tração na face interna da antepara central, enquanto a pressão externa promove tensões de compressão

na face externa.

Na antepara central, a perda de espessura agrava a interação entre os estados de tração e compressão, levando a maiores concentrações de tensões, especialmente em pontos críticos, como as regiões de conexão com cavernas e longarinas. As Figuras 45a e 45b ilustram o comportamento da estrutura para o caso ID-2.3, evidenciando essas concentrações de tensão.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,17E+04$ 1/m.



(b) Seção da caverna para o caso ID-2.3.

Figura 45: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $2,97E+04$ 1/m.;

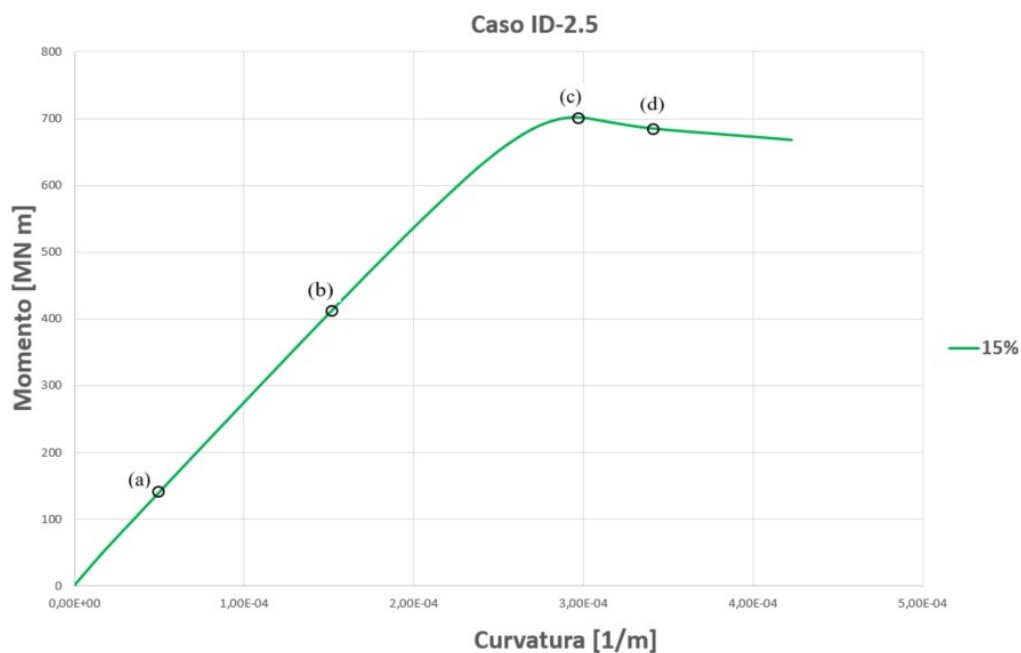
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.3.

5.6.3 Perda de espessura 15%.

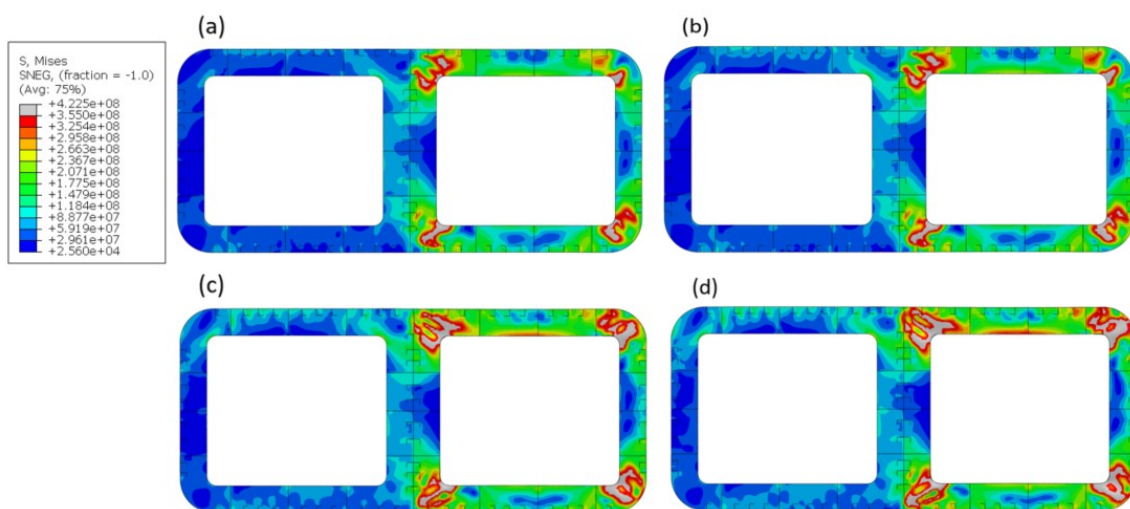
O caso ID-2.5 apresenta uma capacidade de momento resistente reduzida em comparação ao caso ID-2.1 com espessura original, refletindo a degradação estrutural causada

pela redução da seção efetiva dos elementos. Essa diminuição resulta em uma curva com inclinação mais acentuada após o pico de resistência. A pressão interna, e os efeitos tornam-se ainda mais significativos no modelo com perda de espessura, a pressão interna continua a induzir tensões de tração na face interna da antepara central, enquanto a pressão externa promove tensões de compressão na face externa, as Figuras 46a e 46b apresentam o respectivo comportamento da estrutura para o presente caso.

Na antepara central, a perda de espessura agrava a interação entre os estados de tração e compressão, levando a maiores concentrações de tensões, especialmente em pontos críticos, como as regiões de conexão com cavernas e longarinas.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $2,97 \times 10^4$ 1/m.



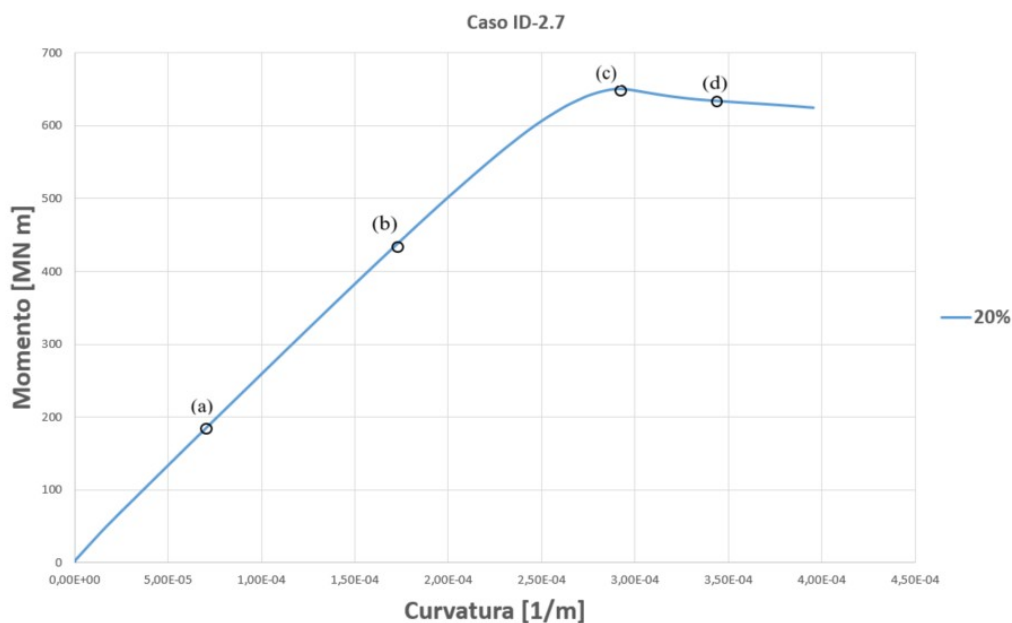
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.5.

Figura 46: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $2,97 \times 10^4$ 1/m.;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.5.

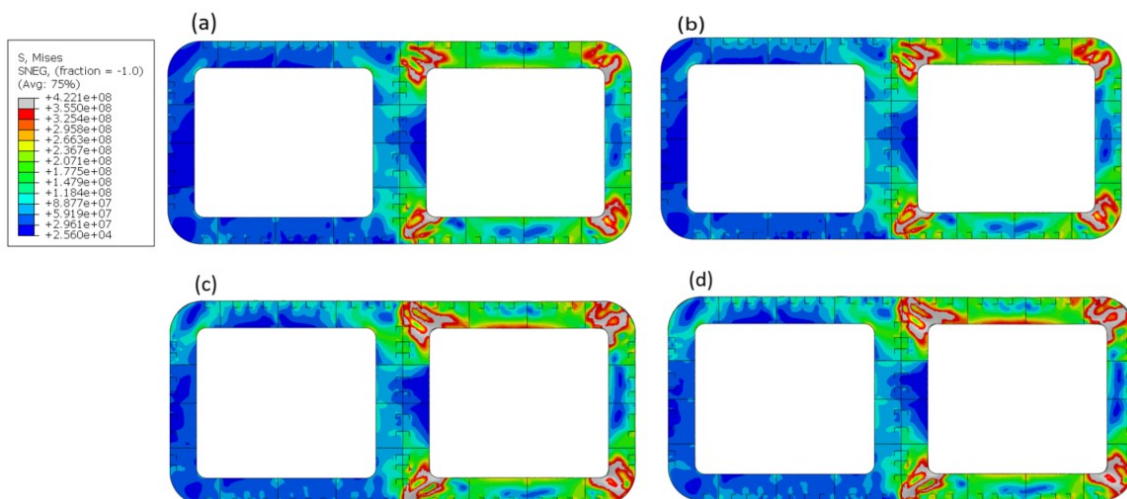
5.6.4 Perda de espessura 20%.

O caso ID-2.7 com perda de espessura de 20% apresenta uma redução da capacidade de momento resistente, esse aumento da redução de espessura, é apresentado no gráfico conforme ilustrado nas Figuras 47a e 47b. A atuação da pressão interna no modelo com 20% de perda de espessura intensifica a concentração na antepara central, pois as tensões de tração geradas na face interna da antepara central, combinadas com as tensões de compressão promovidas pela pressão externa, criam um estado de tensões mais crítico. Com a seção transversal mais fina, a capacidade da estrutura de suportar essa interação de tensões é sensivelmente reduzida, aumentando a probabilidade de deformações localizadas e falhas prematuras.

Na antepara central, a redução de espessura agrava as concentrações de tensões nas regiões de maior solicitação, como os pontos de conexão com as cavernas e longarinas. O comportamento sob pressão interna e externa torna-se mais instável, e o modelo apresenta maior vulnerabilidade a falhas plásticas, especialmente em áreas próximas às descontinuidades geométricas. Essa condição crítica destaca a necessidade de reforços estruturais para garantir a integridade e segurança da plataforma.



(a) Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $3,99\text{e}+04$ 1/m.



(b) Seção da caverna para o caso ID-2.7.

Figura 47: Curvatura máxima registrada no ponto (c), com valor de $2,99\text{E}+04$ 1/m.;
(b) Seção da caverna para o caso ID-2.7.

5.7 Proposta de Reparo para Mitigação da Perda de Espessura

A análise estrutural da antepara central evidenciou que a redução de espessura intensifica a interação entre os estados de tração e compressão, resultando em maiores concentrações de tensões nas regiões de conexão com cavernas e longarinas. Além disso, a menor espessura aumenta a suscetibilidade a fenômenos como flambagem local e fadiga

estrutural conforme Johnson [60], especialmente em áreas expostas a ciclos repetitivos de carga.

Para mitigar os efeitos da degradação estrutural observados nos casos ID-2.3, 2.5 e 2.7, onde foram analisadas as perdas generalizadas de chapeamento, foram simulados propostas para solução de reparo com o intuito de restabelecer a capacidade estrutural da antepara. A alternativa adotada consistiu na substituição das chapas das áreas com maior concentração de tensão.

Foram realizadas simulações de acordo com cada um dos casos apresentados, para cada uma das simulações tiveram reinserção dos trechos selecionados para reparo, sendo realizado a substituição do chapeamento para a condição standard. A escolha por substituir seletivamente os segmentos mais críticos do chapeamento possibilitaram avaliar a recuperação da integridade estrutural de modo que não comprometesse a viabilidade operacional do *pontoon*. O mapeamento dos trechos críticos e a indicação de reforços localizados, tem como propósito minimizar os impactos no peso da estrutura, otimizando os recursos necessários para a manutenção.

5.8 Análise de Casos Propostos para Reparo

A fim de avaliar a eficácia das estratégias de reparo na recuperação da integridade estrutural local do *pontoon*, foram conduzidas simulações considerando diferentes níveis de degradação do chapeamento da antepara central. Os casos selecionados para análise forma ID-2.3, 2.5 e 2.7, em função das análises realizadas no presente estudo, comparando a evolução apresentada para cada um dos casos tendo como parâmetro o comprometimento estrutural do caso ID-2.1.

Cada um dos casos abordados indicou regiões críticas onde as concentrações de tensão atingiram valores acima do limite último à resistência da estrutura. Com base nesses resultados, foram propostas soluções de reparo por meio da substituição seletiva das chapas nas áreas mais afetadas, com o objetivo de restaurar a capacidade de carga e garantir a redistribuição adequada dos esforços.

A análise comparativa entre os modelos pré e pós-reparo permite verificar a eficiência das medidas adotadas, procurando que a estrutura atenda aos requisitos normativos de maneira a manter sua viabilidade operacional, tomando como base comparativa o caso ID-2.0, conforme a apresentado na Figura 48. A seguir os casos analisados detalham os resultados obtidos para cada um dos três casos analisados, destacando os impactos estruturais devido a degradação do material.

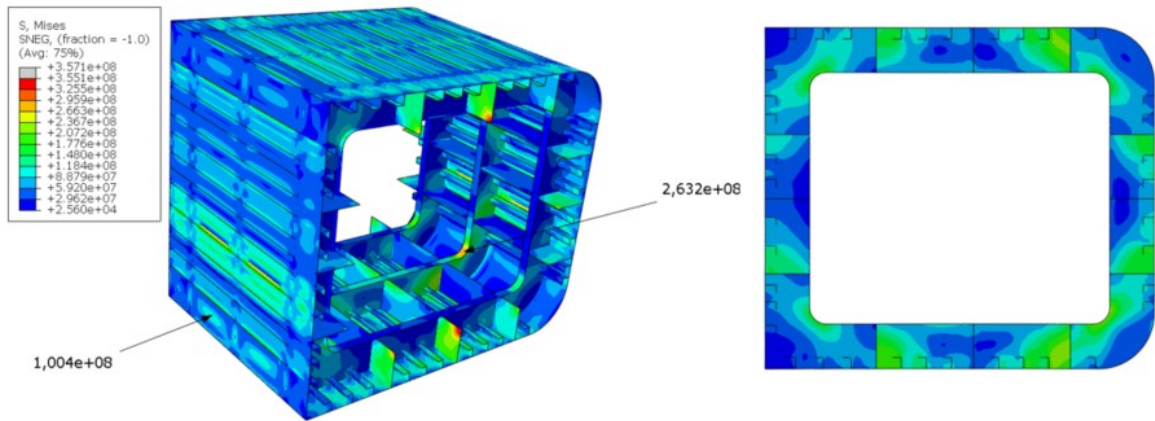


Figura 48: Caso ID-2.0 verificações pontuais do comportamento estrutural.

5.8.1 Reparo Proposto para o CASO ID-2.3

Para o caso ID-2.3, foram realizadas simulações com configurações distintas, de maneira a mitigar os pontos de concentração de tensão, de forma a convergir para níveis próximos aos obtidos no caso ID-2.1, na qual encontram-se dentro da margem estabelecida por norma.

O reparo proposto para o caso ID-2.3 abrange os pontos de maior concentração de tensão apresentados, foram destacados os pontos na antepara e na região da caverna conforme apresentado na Figura 49. Os trechos de chapeamento pontualmente substituídos ao longo da antepara central correspondem a 25%, quanto ao trecho ao longo da caverna foram substituídos 45% do estrutural. O chapeamento total dimensionado para substituição no caso ID-2.3 corresponde a 8% de todo modelo local.

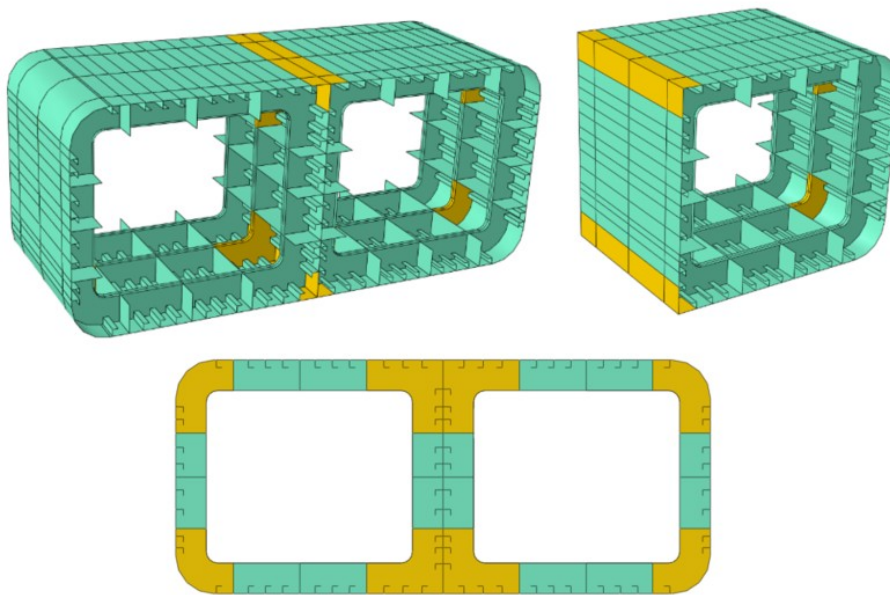


Figura 49: Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.3.

A partir dos resultados obtidos, foram destacados dois pontos para efeito comparativo de resultados, conforme apresentado na Figura 50.

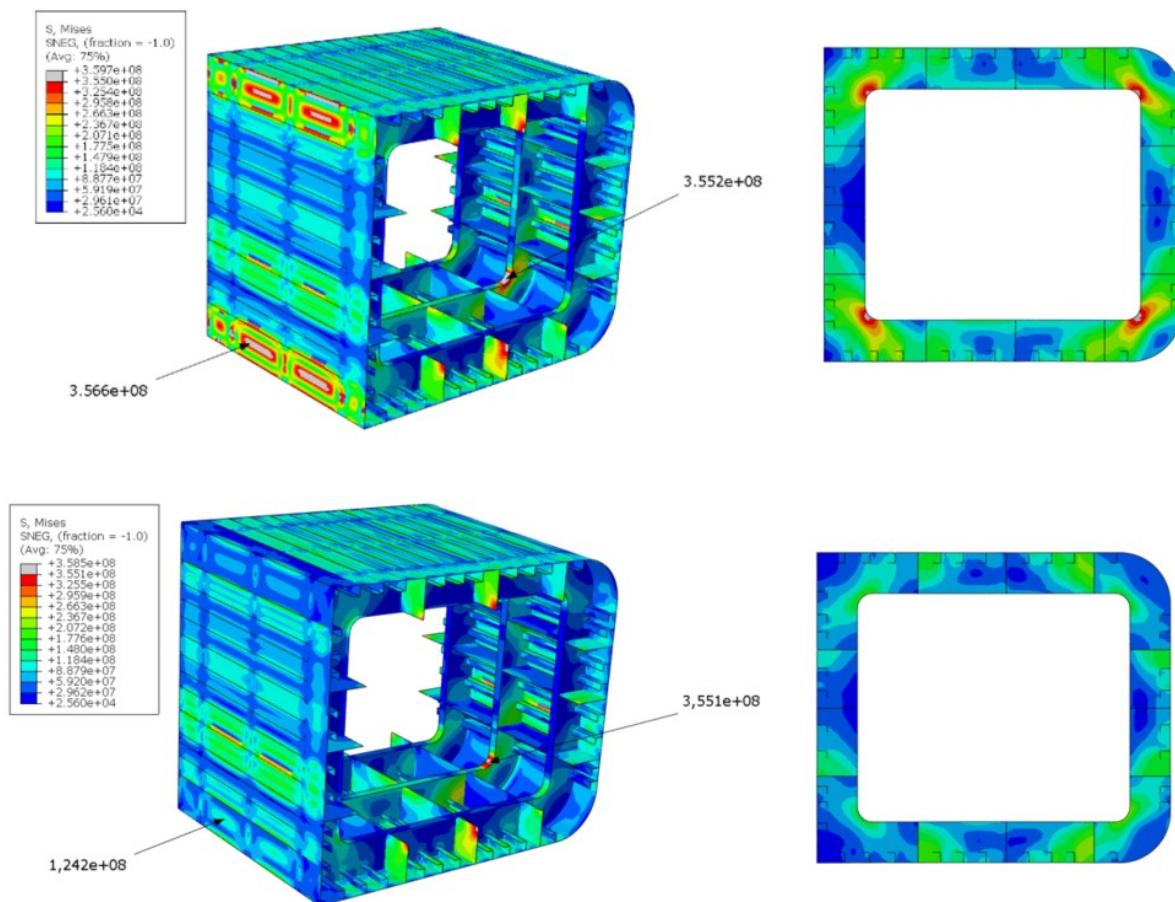


Figura 50: Resultados Pré e Pós repara referente ao Caso ID-2.3.

5.8.2 Reparo Proposto para o CASO ID-2.5

Para o caso ID-2.5, correspondente à perda de espessura generalizada de 15%, a partir dessa premissa foram conduzidas simulações de modo a identificar as regiões críticas e avaliar a necessidade de reforços ou substituições no chapeamento do *pontoon*. A redução a este nível de espessura intensificou as concentrações de tensão em pontos específicos, principalmente na antepara central e nas conexões com longarinas e cavernas, evidenciando maior suscetibilidade a falhas estruturais.

A disposição do reparo manteve continuidade em relação ao utilizado no caso ID-2.3, contando com acréscimo no trecho da antepara central devido ao aumento das concentrações de tensões nessa região, conforme apresentado na Figura 51, o que totalizou 40% de troca de chapa em relação a antepara central. O chapeamento total dimensionado para substituição no caso ID-2.5 corresponde a 9% de todo modelo local.

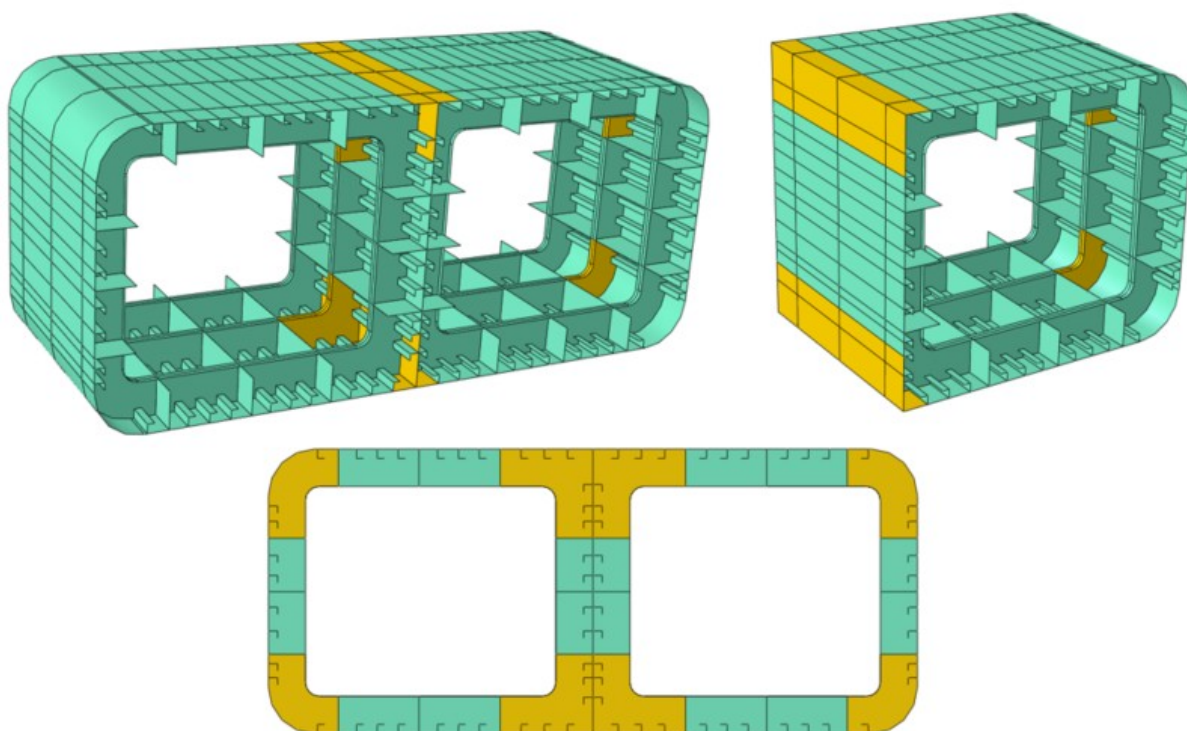


Figura 51: Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.5.

A proposta de reforço para o caso ID-2.5 priorizou a troca de chapas nas regiões de maior solicitação mecânica, incluindo os pontos de conexão entre a antepara e os elementos estruturais adjacentes. Essa abordagem reestabeleceu sensivelmente o equilíbrio entre a restauração da resistência da estrutura, os resultados obtidos, foram destacados de acordo com dois pontos para comparação, conforme abordado no caso ID-2.5, conforme ilustrado na Figura 52.

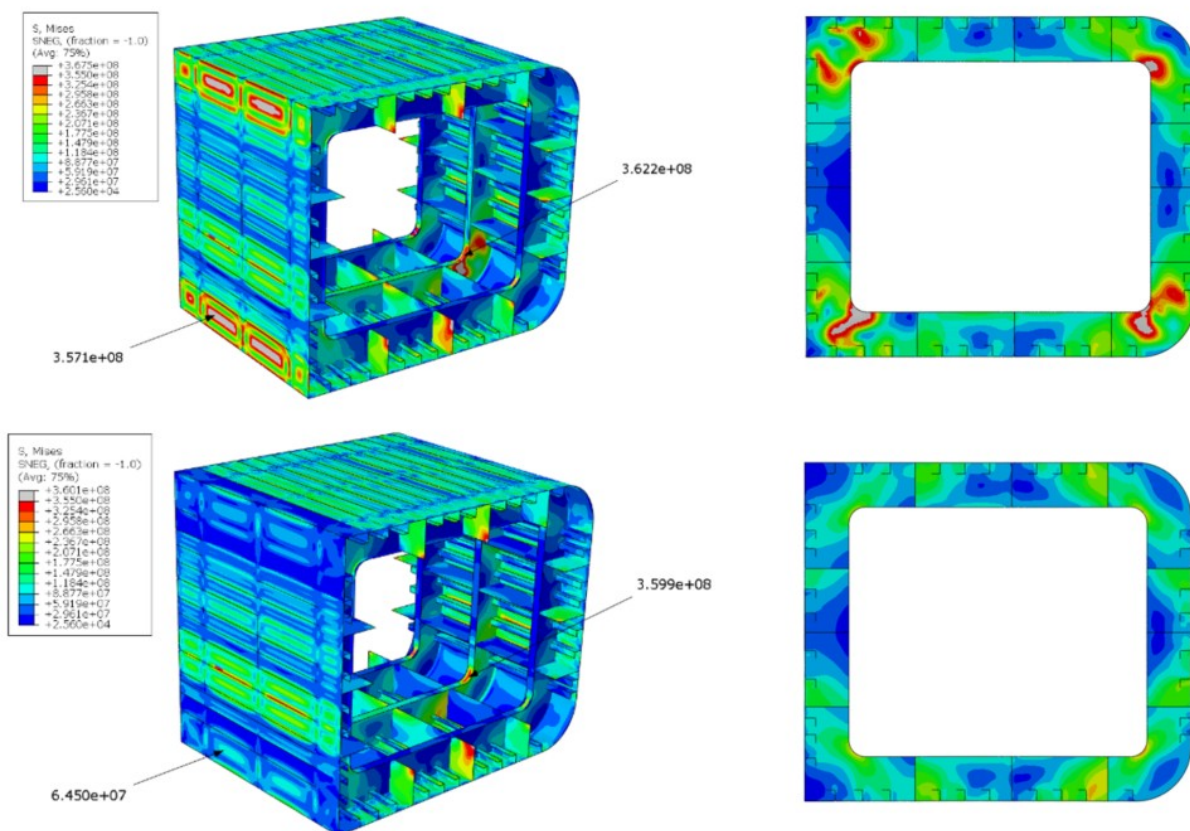


Figura 52: Resultados Pré e Pós repara referente ao Caso ID-2.5.

5.8.3 Reparo Proposto para o CASO ID-2.7

Para o caso ID-2.7, correspondente à perda de espessura generalizada de 20%, onde foram conduzidas simulações estruturais com o propósito de identificar as regiões críticas e avaliar a necessidade de reforços ou substituições no chapeamento do modelo local analisado do *pontoon*. A degradação estrutural neste estágio avançado intensificou significativamente as concentrações de tensão, especialmente na antepara central e nas conexões com longarinas e cavernas, aumentando a vulnerabilidade da estrutura a falhas.

A análise dos esforços e da redistribuição das tensões revelou a necessidade de intervenções mais abrangentes para restabelecer a integridade estrutural local do *pontoon*. Diante do cenário apresentado, a solução de reparo adotada consistiu na substituição de trechos de chapeamento. A proposta de reparo adotada abarcou as regiões mais suscetíveis a concentração de tensão, devido a um aumento em função de uma estrutura mais fragilizada devido à perda de espessura adotada.

De acordo com os resultados apresentados para o caso ID-2.7, que analisou a perda de espessura do chapeamento, após a simulação de reparo, a configuração adotada incluiu a troca do chapeamento nas áreas com maior concentração de tensões, conforme ilustrado na Figura 53. Dentre as principais intervenções realizadas, destaca-se a ampliação do reforço na antepara central, que corresponde a 57% da substituição do chapeamento, e

a renovação de trechos estratégicos na transição do anel da caverna, com 49% da substituição direcionada nessa região. Esses componentes apresentaram comprometimento estrutural significativo, no total, o chapeamento dimensionado para substituição no caso ID-2.7 corresponde a 15% de todo o modelo local.

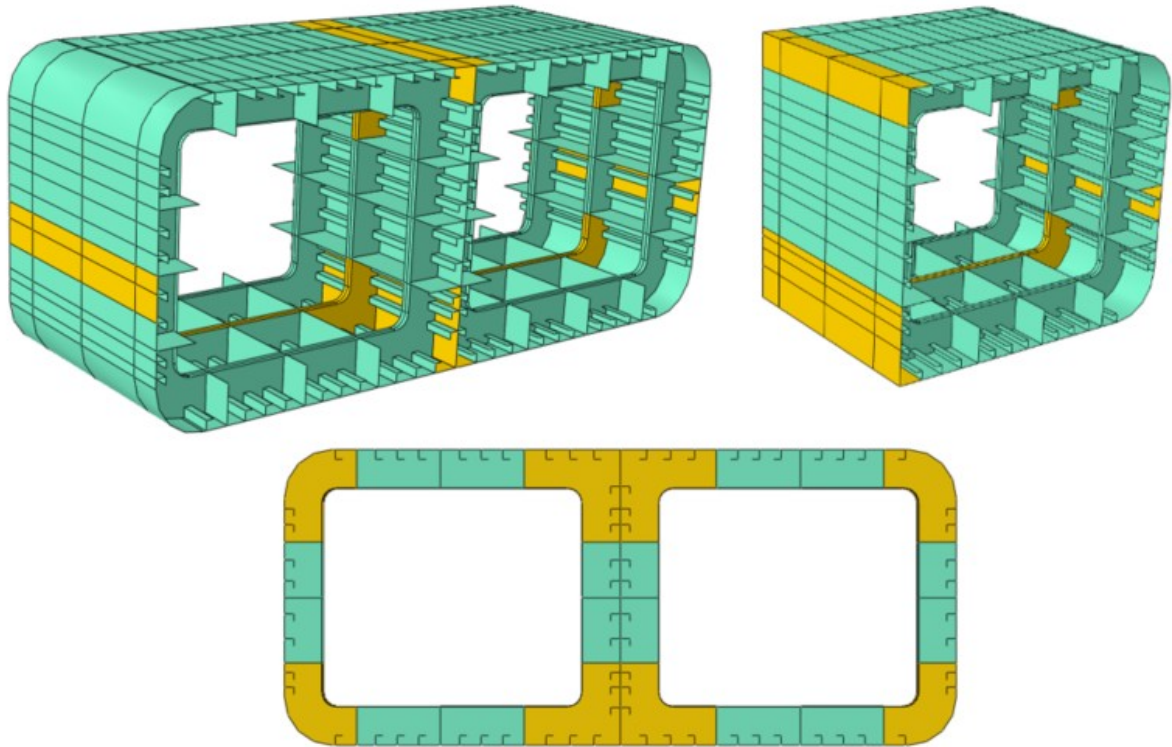


Figura 53: Proposta de reparo aplicado ao Caso ID-2.7.

A proposta adotada para reparo da estrutura para o caso ID-2.7 priorizou a troca de chapas nas regiões com maior solicitação mecânica, incluindo os pontos de conexão entre a antepara e os elementos estruturais adjacentes. Essa configuração apresentou um equilíbrio eficiente entre a restauração da resistência da estrutura e a otimização de reparo.

A concentração de tensão a que antepara central está sujeita, apresentou agravamento com a redução generalizada de espessura adotando o caso mais crítico, a interação entre os estados de tração e compressão, levando a maiores concentrações de tensões, especialmente em pontos críticos, como as regiões de conexão com cavernas e longarinas, além disso, a menor espessura intensifica a vulnerabilidade da estrutura, particularmente nos trechos apontados.

Os resultados obtidos, foram destacados de acordo com dois pontos para comparação de resultados, conforme abordado no caso ID-2.5, os pontos destacados, após a introdução do reparo proposto nas regiões mais afetadas como apresentado na Figura 54.

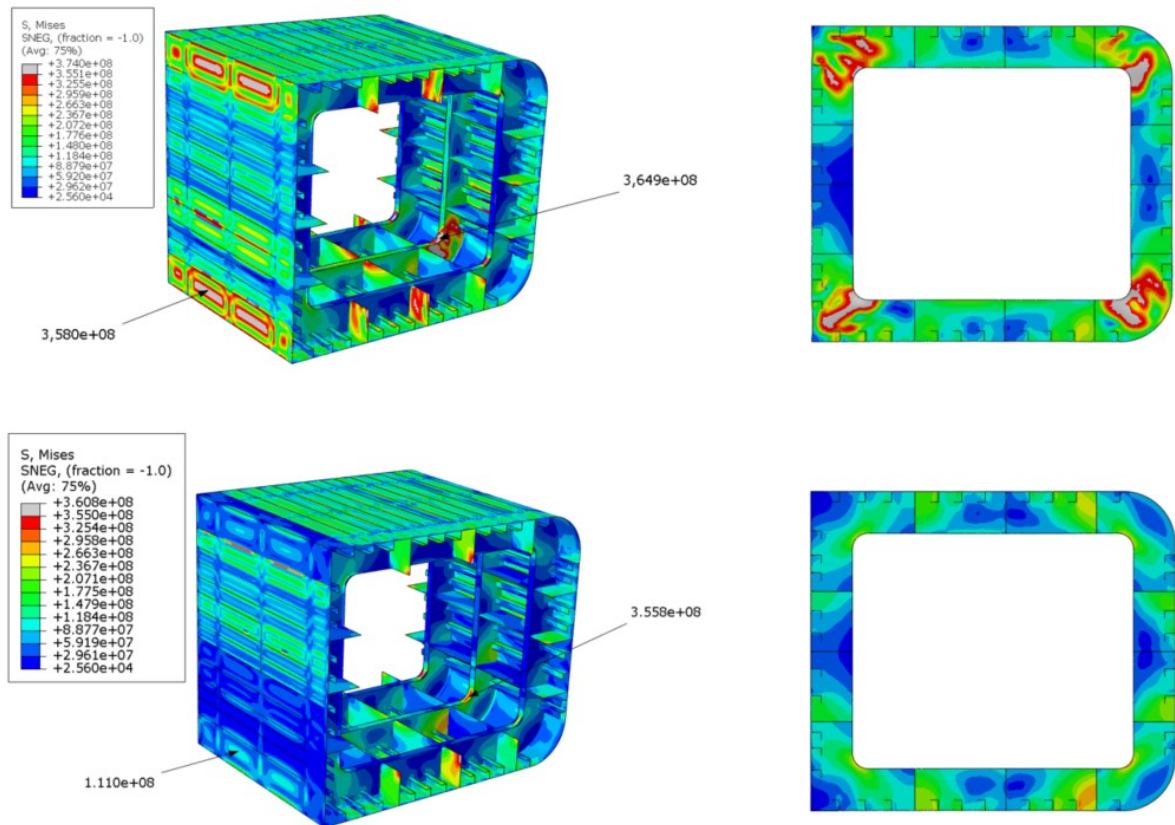


Figura 54: Resultados Pré e Pós repara referente ao Caso ID-2.7.

5.9 Resultados e Discussões

Após uma série de simulações computacionais realizadas, os resultados obtidos nas simulações demonstram o impacto da perda de espessura na resistência estrutural da plataforma semissubmersível, bem como a eficácia das estratégias de reparo adotadas. A análise foi conduzida com base nos casos ID-2.3, ID-2.5 e ID-2.7, que representam reduções progressivas de espessura de 10%, 15% e 20%, respectivamente. Esses cenários foram selecionados por apresentarem a pior condição de carregamento, caracterizada por um tanque cheio e outro vazio, resultando em concentrações críticas de tensão na antepara central e na região de transição do flange inferior da caverna.

Apesar do reparo nas regiões mais afetadas apresentarem significativa redução das tensões na antepara, a mesma proposta de reparo foi menos eficaz no flange do anel da caverna. Esse contraste destaca a necessidade da introdução de reparo que possam ser igualmente eficazes em todas as áreas críticas da estrutura apresentada. A diferença significativa nas reduções de tensão entre a antepara e o flange sugere a necessidade de uma abordagem mais específica para cada região, garantindo assim a integridade estrutural e a segurança global da estrutura.

No caso ID-2.3, essa redução foi da ordem de 65%, enquanto na região do flange a redução foi de apenas 1%, evidenciando a limitação da técnica empregada nessa área. No caso ID-2.5, a redução de tensão na antepara atingiu 63%, enquanto no flange foi de 2%, mantendo a mesma tendência de comportamento. Já no caso ID-2.7, a maior redução foi registrada, com uma diminuição de 67% na antepara, mas apenas 6% no flange, conforme ilustrado na Figura 54. Os resultados obtidos demonstram que, embora o reparo tenha sido eficaz na mitigação das tensões na antepara central, a região do flange inferior da caverna não apresentou ganhos expressivos.

Os valores de tensão máxima registrados antes da aplicação do reparo indicaram níveis elevados de concentração, especialmente na antepara central, atingindo 358 MPa no caso mais severo (ID-2.7). Após a implementação do reparo, obteve-se uma redução significativa na tensão da antepara para valores da ordem de 121 MPa, correspondendo a uma redução de aproximadamente 66%. Essa melhoria evidencia a eficácia da reposição do chapeamento na recuperação da capacidade de resistência da estrutura, de acordo com cada uma das configurações propostas. No entanto, a região do flange apresentou uma redução menos expressiva, com valores próximos de 356 MPa em todos os cenários, o que sugere que essa área requer estratégias adicionais de reforço para mitigar completamente as tensões residuais apresentadas, a Figura 55 apresenta o gráfico que representa comportamento específico para os dois pontos analisados.

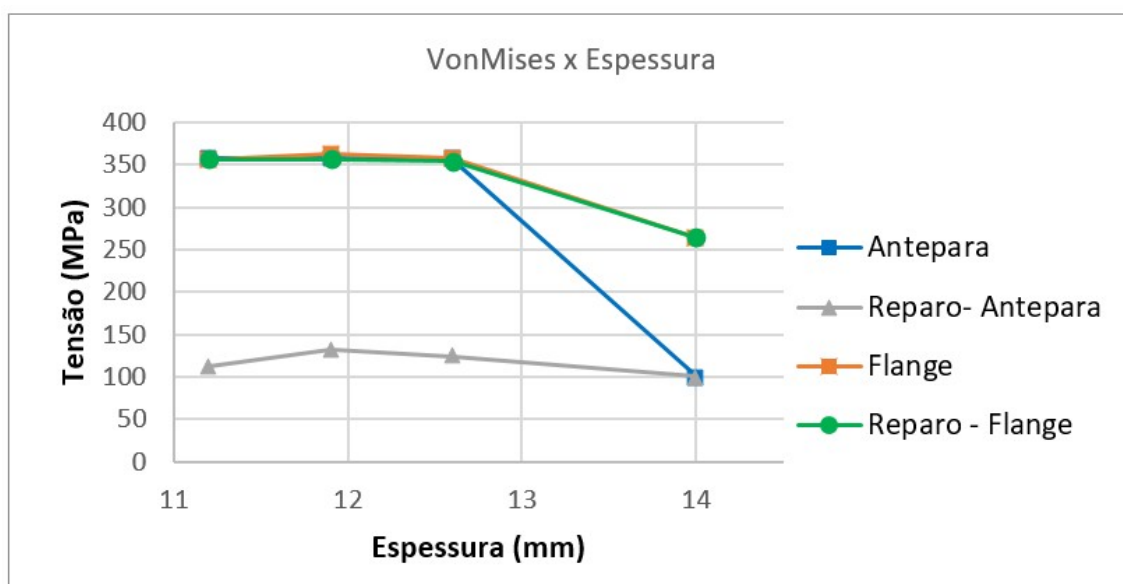


Figura 55: Comportamento estrutural conforme os pontos de análise localizados na antepara e flange.

A partir das simulações realizadas para aplicação de reparo proposto para cada um dos casos abordados, permitiu analisar a correspondência com a coluna d'água, a pressão interna exercida na antepara central do tanque submetida as condições abordadas acentuou a solicitação estrutural na região inferior da antepara, constatando-se que se

trata de um dos pontos mais críticos em termos de integridade estrutural. Com base nos dados obtidos para cada condição de reparo, tomando o ponto crítico na região inferior da antepara foi possível constatar o efeito de correspondência da coluna d'água para cada caso analisado, a Figura 56 apresenta o gráfico com os respectivos comportamentos para cada um dos casos abordados.

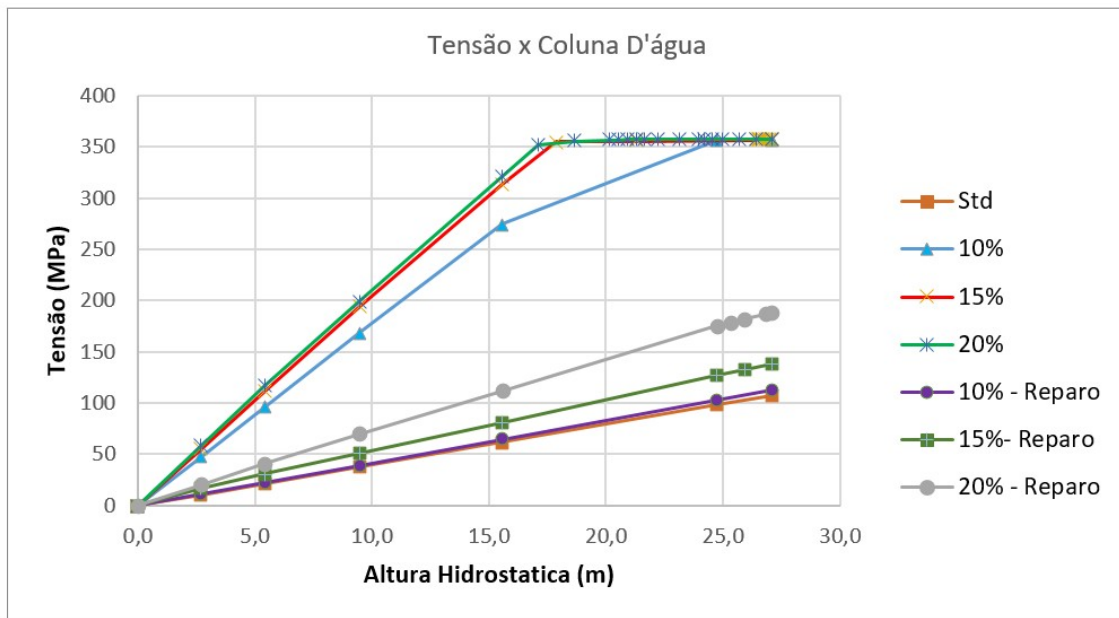


Figura 56: Gráfico de Distribuição de Tensão em Função da Coluna D'Água nos Pontos de Análise da Antepara e do Flange.

Comparando os três casos, verifica-se que a perda de espessura impacta diretamente a integridade estrutural, elevando os níveis de tensão e potencializando o risco de falha. Por outro lado, a abordagem de reparo proposta demonstrou-se eficiente na recuperação da resistência da antepara, enquanto no flange os ganhos foram limitados, exigindo uma análise mais aprofundada para soluções complementares.

Outro ponto relevante é a necessidade de avaliar diferentes configurações de reforço para mitigar os efeitos da pressão interna. A aplicação do chapeamento demonstrou ser eficaz na redução das tensões na antepara, mas a persistência de níveis elevados na região do flange sugere que a utilização de reforçadores adicionais possa ser necessário. Alternativamente, soluções como a utilização de materiais com maior resistência mecânica e menor suscetibilidade à corrosão poderiam ser investigadas como uma abordagem complementar para redução dos níveis de tensão concentrado em determinados trechos de transição estrutural.

Haja vista os casos abordados tratem de forma generalizada a perda de espessura, os resultados apresentados com base no reparo, apresentaram que os casos de reparo proposto requerem uma avaliação abrangente de toda a estrutura da plataforma, a análise local do pontoon, avaliou uma região submetida a esforços com base em dados obtidos de

acordo com o preconizado pela DNV [50]. Os casos abordados representam os mais críticos analisados neste estudo, e o pós processamento indicou resultados satisfatórios para o modelo local, representando uma quantidade menor que 20% do modelo comprometido.

Capítulo 6

Conclusão

Este trabalho abordou a possibilidade da conversão de plataformas offshore semissubmersíveis descomissionadas ou em fase final de operação na área de produção e exploração de petróleo, em bases navais flutuantes, com foco na avaliação estrutural de região local do *pontoon*, considerando diferentes cenários de degradação por corrosão e degradação dos materiais. A partir da metodologia empregada, que utilizou modelagens computacionais baseadas no Método dos Elementos Finitos (FEM), foram analisados os efeitos estruturais da redução de espessura em 10%, 15% e 20% sobre a integridade da plataforma.

As condições de contorno empregadas foram tomadas com base as aplicadas por Van-Vau [53], onde avalia-se o colapso progressivo de uma viga enrijecida. Para validação das condições de contorno usadas no método empregado, foi gerado modelo local da estrutura do *pontoon* e aplicado as condições de carregamento a que o modelo está sujeito. Essa abordagem permite avaliar a distribuição dos esforços ao longo do *pontoon*, verificando sua resposta estrutural diante de diferentes cenários de degradação. Além disso, a modelagem possibilita a comparação com estudos anteriores, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos.

Os reforços trechos de chapeamento substituídos de acordo com a respectivo caso aplicados demonstraram compatibilidade com as condições de carregamento da plataforma, garantindo que as tensões redistribuídas permanecessem dentro dos limites aceitáveis. Isso reforça a adequação da técnica para a conversão das plataformas, permitindo a operação segura em ambientes marítimos adversos.

Os resultados obtidos nas simulações computacionais reforçam a relevância da análise estrutural para a conversão de plataformas semissubmersíveis descomissionadas em bases navais flutuantes. A avaliação da degradação estrutural revelou que a perda de espessura impacta diretamente a resistência da estrutura, aumentando a concentração de tensões em regiões críticas, como a antepara central e o flange inferior da caverna. No entanto, a aplicação do reparo proposto demonstrou ser uma estratégia eficaz para mitigar esses efeitos, reduzindo significativamente as tensões na antepara em até 67%, conforme observado no caso ID-2.7.

Apesar da eficácia da técnica na recuperação da resistência da antepara, os resultados indicaram que a região do flange inferior da caverna apresentou ganhos limitados com o reparo, registrando reduções pouco expressivas nas tensões residuais. Isso sugere a necessidade de explorar soluções estruturais complementares, como o reforço localizado com perfis adicionais.

Outro ponto relevante identificado na análise foi a influência da coluna d'água na intensificação das tensões estruturais. As simulações demonstraram que a pressão interna exerce um papel determinante no comportamento da antepara, acentuando solicitações na região inferior. Esse efeito deve ser considerado no dimensionamento de reforços estruturais, pois a interação entre cargas hidrostáticas e perda de material pode comprometer a segurança operacional da plataforma convertida. Por este motivo, uma abordagem mais robusta, incluindo reforços longitudinais e materiais de maior desempenho, pode ser essencial para prolongar a vida útil da estrutura.

Dessa forma, a conversão de plataformas semissubmersíveis descomissionadas em bases navais flutuantes surge como uma alternativa tecnicamente viável para ampliar a presença da Marinha do Brasil em áreas estratégicas da costa brasileira. Além da otimização de ativos offshore já existentes, a proposta possibilita a redução de custos operacionais quando comparada à construção de novas infraestruturas navais, contribuindo para a defesa e a soberania marítima do país.

6.1 Trabalhos Futuros

Com o intuito de sempre aprimorar o conhecimento sobre o comportamento estrutural de estruturas offshore selecionadas para reutilização em outros propósitos, a análise para condições extremas, se faz importante que futuramente outros aspectos fossem analisados, tendo em vista não ter sido escopo deste trabalho, quais sejam:

- Análises de longo prazo considerando efeitos acumulativos de corrosão e fadiga – Embora este estudo tenha abordado diferentes níveis de degradação, uma investigação detalhada sobre a progressão da corrosão ao longo do tempo, associada a ciclos de carregamento operacional, pode fornecer uma visão mais realista sobre a vida útil remanescente da estrutura.

- Estudos hidrodinâmicos e de estabilidade da plataforma após a conversão – A adaptação das plataformas para uso militar pode alterar suas respostas hidrodinâmicas e sua estabilidade em diferentes condições ambientais. Modelagens mais detalhadas poderiam ser conduzidas para avaliar o comportamento dinâmico da estrutura sob influência de correntes, ondas e ventos.

- Análise de viabilidade econômica e logística – Além dos aspectos técnicos, é essencial avaliar a viabilidade financeira da conversão dessas plataformas, considerando custos de adaptação, manutenção e operação em comparação a alternativas convencionais, como a construção de novas bases navais.

- Avaliação de materiais e novas tecnologias de reforço estrutural – A aplicação de materiais avançados, como compósitos estruturais e revestimentos anticorrosivos podem ser exploradas com o intuito de aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção das estruturas convertidas.

- Estudos sobre integração de sistemas militares e logísticos – A adaptação das plataformas para uso naval requer a incorporação de equipamentos específicos para defesa, monitoramento e suporte logístico. Pesquisas futuras podem explorar a compatibilidade dessas estruturas com as necessidades operacionais da Marinha do Brasil.

- Levantamento de locais para manutenção adequada de reparo e conversão – A escolha de locais adequados para manutenção e conversão das plataformas se faz importante para garantir condições ideais de execução das obras. Pesquisas futuras poderiam considerar fatores como disponibilidade de infraestrutura portuária, capacidade técnica local e viabilidade econômica do uso de diques secos ou flutuantes, além de desenvolver diretrizes para simplificar os processos de reparo e reforço estrutural.

Ao avançar nesses tópicos, será possível consolidar o conhecimento técnico e estratégico sobre a conversão de plataformas offshore em bases navais flutuantes, contribuindo para uma implementação eficaz desse modelo inovador de defesa marítima.

Referências Bibliográficas

- [1] J. G. SPEIGHT. Occurrence and Formation of Crude Oil and Natural Gas. In *Subsea and Deepwater Oil and Gas Science and Technology*. Elsevier, 2015.
- [2] SNYDER Brian, Mark J. KAISER and Allan G. Pulsipher. Offshore drilling industry and rig construction market in the Gulf of Mexico. Technical report, Louisiana State University, Center for Energy Studies, Coastal Marine Institute, Baton Rouge, March 2013.
- [3] PRIEST Tyler, Joel Hewett, Diane E. Austin, Morgan Lundy. History of the Gulf of Mexico Offshore Oil and Gas Industry during the Deepwater Era. Volume 1: The Shape of These Monsters: From Fixed to Floating Offshore Oil and Gas Production, 1976–2006. Technical document OCS Study 2022-077, Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), New Orleans, 2022.
- [4] BARNETT, J. CHAKRABARTI, S., H. KANCHI, A. MEHTA, and J. YIM. Design Analysis of a truss pontoon Semi-Submersible Concept in Deep Water. *Ocean Engineering*, Vol. 34:Elsevier, March 2007.
- [5] SUBRATA C. *Handbook of Offshore Engineering*. (Elsevier Ocean Engineering Series), London, Ed. 2010.
- [6] C. V. AMEACHI, A. REDA and H. O. BUTLER, I. A. Ja’e and C. An. Review on Fixed and Floating Offshore Structures. Part I: Types of Platforms with Some Applications. *J. Mar. Sci. Eng.*, 10(8):1074, August 2022.
- [7] PETEX-PETROLEUM EXTENSION SERVICE. Offshore well construction. Technical report, University of Texas, June 2005.
- [8] R. GONDIM C. DA CUNHA. Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul - Perspectivas Brasileiras. *Hemisfério, Revista del Colegio Interamericano de Defensa*, 1:31–45, Jun 2015.
- [9] ISRAEL O. ANDRADE. Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul: Soberania, vigilância e defesa das águas jurisdicionais brasileiras. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2019.

- [10] A. LAMPERT. Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul – A importância estratégica e o aprimoramento. *Revista Marítima Brasileira (RMB)*, 2020.
- [11] 1º Ten KOWALSKI G. L. : Uma Proposta de Emprego dos Projetos de Tecnologia Nacionais Radar OTH0100 e Míssil de Cruzeiro AV TM 300-Matador na Defesa do Litoral Brasileiro - Revista da Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea (CI A Cos/1934), Rio de Janeiro, 2021.
- [12] P. H. L. GABRIEL. Desenvolvimento de Mísseis Convencionais no Brasil: Desafios Geopolíticos. Escola Superior de Defesa (ESD), 2022.
- [13] OLIVEIRA, Mariana Rosa de . Desenvolvimento da tecnologia de veículos aéreos não tripulados no mercado. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- [14] S. R. ARENDS, J. H. Harrington, C. R. , A. E. PELLERIAN and M. M. STALEY. Military Use of Offshore Platforms, Student Research Paper -NAVAL WAR COLLEGE, April 1979.
- [15] DALAPÉ B. C., B. A. DeLIMA. Bases Militares Flutuantes o Avanço da Ação de Presença. Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão (CAAML), Revista Passadiço - 2024.
- [16] R. B. Z. JIN and B. P. M. SHARPLES. Failure Analysis of Texas Tower No. 4 - University of California Berkeley. Formerly with American Bureau of Shipping, May 2002.
- [17] MICHAEL E. HOKANA. New Ideas in Gaining Military Access. Student Research Paper - NAVAL WAR COLLEGE, May 2001.
- [18] MINDEF. (Ministry of Defence): DEFENCE WHITE PAPER. - A Source, Sovereign and Prosperous Malaysia, Kuala Lumpur ,2020.
- [19] J. R. JANE-HELEN PEDERSEN. An integrated solution for the world’s first satellite launch unit at Sea; Technical Report , 2006.
- [20] KAPLAN. A brief history of the sea-based x-band radar-1. Missile Defence Agency (MDA), White Paper, 2003.
- [21] MISSILE DEFENSE AGENCY (MDA). Department of Defense Fiscal Year (FY) President’s Budget, Research, Development, Test Evaluation, Defense- Wide - 0400. 2011.

- [22] N. G. XAVIER VAVASSEUR. Concept turns oil rigs into mobile missile defense and supply bases, Acessado em AGO de 2024. <https://www.navalnews.com/2024/>.
- [23] Jr BEN C. GERWICK. *CONSTRUCTION OF MARINE AND OFFSHORE STRUCTURES*. CRC. Taylor Francis Group, New York 3rd ed, 2007.
- [24] NAVFAC: Naval Facilities Engineering Service Center. Mobile Offshore Base (MOB) Science and Technology Program, Port Hueneme - California, 2000.
- [25] Y. CHEN T. XIAOJIE, X. SUN and H. WANG. Multi-objective optimization of the hull form for the semi-submersible medical platform. *Ocean Eng.*, 230:109038, Jun 2021.
- [26] A. INCECIK L. YONGWON and H.-S. CHAN. Prediction of Global Loads and Structural Response Analysis on a Multi-Purpose Semi-Submersible. In *24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering: Volume 1, Parts A and B*, pages 3–13, Halkidiki, Greece. ASMEDC, Jan 2005.
- [27] PDI PETROBRAS. Programa de Descomissionamento de Instalações Marítimas - (Marlim Voador), 2002.
- [28] FGV-ENERGIA. Aspectos Socioeconômicos por trás das atividades de Descomissionamento., 2022.
- [29] J. MACGREGOR, SAVAN MAYEKAR and DUCAN WATSON. Semi-submersible design – a new generation of offshore accommodation vessels. *Ocean Engineering*, 172:759–787, Jan 2019.
- [30] LEPORINI Mariella, Barbara Marchetti, Francesco Corvaro e Fabio Polonara. Re-conversion of offshore oil and gas platforms into renewable energy sites production: Assessment of different scenarios. *Renewable Energy*, 135:1121–1132, May 2019.
- [31] HASLEY. Sea-Based X-Band (SBX) Radar Vessel Maintenance and Repair. Draft environmental assessment, Defense Technical Information Center, Fort Belvoir, VA, Feb 2011.
- [32] KOENING, Philip and Norbert Doerry. Modularity and Adaptability in Future U.S. Navy Ship Designs. Technical report, U.S. Navy, Dec 2018.
- [33] BIRKLER J. and Denis Rushworth. Differences Between Military and Commercial Shipbuilding. Technical report, United Kingdom’s Ministry of Defence, 2005.

- [34] HARITOS, Nick. Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures—An Overview. *Electronic Journal of Structural Engineering*, (1):55–65, Jan 2007.
- [35] WADE, Bruce G. On Re-Setting the Fatigue Clock on Older Semisubmersible Vessels. *International Design*, Osaka, Japan - 1994.
- [36] BRAGA ,Jime ,Thauan Santos, Milad Shadman , Corbiniano Silva , Luiz Filipe Assis Tavares and Segen Estefen. Converting Offshore Oil and Gas Infrastructures into Renewable Energy Generation Plants: An Economic and Technical Analysis of the Decommissioning Delay in the Brazilian Case. *Sustainability*, 14(21):13783, Oct 2022.
- [37] ABS. Floating production installations, July. Edition 2014.
- [38] OFFSHOREMAGAZINE. Acessado em 26MAI2024. :<https://www.offshore-mag.com/>, 2008.
- [39] T. LAMB. *Ship Design and Construction, Vol. 1 & 2*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers - SNAME, 2003.
- [40] BULUT O. D. Emrah. *Anal. Hierarchy Process AHP Marit. Logist. Theory Appl. Fuzzy Set Integr.* Springer International Publishing AG - 2018.
- [41] MAGGESSI, Karolina Muniz. Proposta de um Modelo de Priorização de Práticas de Governança Corporativa que possibilita a Alavancagem da Performance Sustentável de Joint Ventures Internacionais - Tese (Doutorado: Programa de Sistemas de Gestão Sustentáveis). Universidade Federal Fluminense (UFF), 2021.
- [42] HARRIS, A. K. R. Robinson. Converting Merchant Ships to Missile Ships for the Win, Jan 2019.
- [43] CARMONA, Ronaldo Gomes. *Panorama dos desafios brasileiros da indústria de defesa e segurança*. Confederação Nacional da Indústria (CNI), Brasília, Relatório Técnico, 2023.
- [44] VASCONCELOS, Yuri. Vigilância em Alto-Mar. Vigilância em Alto-Mar, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Jul 2018.
- [45] NATALIZI, Rodrigo Alves. Análise de Custos e Benefícios na Escolha da Configuração de Navios. Revista da Escola de Guerra Naval - EGN; Dez. 2014.
- [46] EMA-420, Estado-Maior da Armada, 2002.

- [47] E. C. TUPPER and W. MUCKLE. *Introduction to naval architecture*. Butterworth-Heinemann, Oxford; Boston, 3rd edition, 1996.
- [48] AMARAL, Digo Macedo A. Resistência Última à flambagem de painéis enrijecidos de estruturas oceânicas sob avaria. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE-UFRJ, 2009.
- [49] DNVGL-OS-C101, “Design of offshore steel structures, general – LRFD method”. Edition July, 2018.
- [50] DNVGL-OS-C103, “Structural design of column stabilised units – LRFD method”. Edition July, 2015.
- [51] SOLER, Jordi Mas. ASSESSING THE USE OF SEMISUBMERSIBLE OIL PLATFORM AS A MOTION-BASED SEA WAVE SENSOR, Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica). Universidade de São Paulo, USP - 2018.
- [52] ZIENKIEWICZ. *The Finite Element Method, Volume 1: The Basis*, volume 1. Butterworth Heinemann, Fifth edition, 2000.
- [53] VAN-VAU. Prediction the ultimate longitudinal strength of intact ship by finite element method. *Int. J. Mech. Eng. Appl.*, 2000.
- [54] ABAQUS 6.14 EXAMPLE PROBLEMS GUIDE VOLUME I: Static and Dynamic Analysis, 2014. DASSAULT SYSTEMS.
- [55] DNVGL-CG. , “Finite element analysis”. Edition October, 2015.
- [56] M. OKEREKE and S. KEATES. *Finite Element Applications*. Springer International Publishing, Cham, 2018.
- [57] FERNANDES, Rafael Costa. Análise Computacional de Reparo em Paineis de Fundo de FPSO com Materiais Compósitos. Dissertação de Mestrado , Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE-UFRJ, 2022.
- [58] YONG BAI and WEI-LIANG JIN. *Marine Structural Design*. Butterworth-Heinemann, Second edition, 2023.
- [59] BV. Bureau Veritas - Rules for the Classification of Offshore Units- -455-NR-2016, 2016.
- [60] SIDNEY M. JOHNSON. *Deterioration, Maintenance and Repair of Structures*. McGRAW – Hill Book Company, 1965.