

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA
DEMEC
ENGENHARIA MECÂNICA**

THOMAS LOPERA RAMIREZ

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL MECÂNICA BÁSICA DE “SPREADER BAR” PARA
TRANSPORTE DE JUMPER EM AMBIENTE OFF-SHORE.**

PROJETO FINAL

**RIO DE JANEIRO
2022**

THOMAS LOPERA RAMIREZ

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL MECÂNICA BÁSICA DE “SPREADER BAR” PARA
TRANSPORTE DE JUMPER EM AMBIENTE OFF-SHORE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do DEMEC, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Fernandes

**RIO DE JANEIRO
2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R173 Ramirez, Thomas Lopera
Avaliação estrutural mecânica básica de “spreader bar” para
transporte de jumper em ambiente off-shore / Thomas Lopera
Ramirez. — 2022.
79f + apêndice. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.

Bibliografia : f. 78-79

Orientador: José Luiz Fernandes

1. Engenharia mecânica. 2. Petróleo e gás. 3. Inovações
tecnológicas. I. Fernandes, José Luiz. (Orient.). II.
Título.

CDD 621

Dedico este trabalho à Paola, Isaura e Andrés

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas curtas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. José Luiz Fernandes, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala Natan Cytrynbaum, Fabio Pinheiro, Gabriel Laport e Natália Carmo. Aos meus companheiros de trabalho. Adriana Caldeira, Mateus Saggin e Thomas Low-Ber, pelos direcionamentos e provocações que me tornaram uma melhor pessoa. Isabela, pelo grande exemplo de resiliência e incentivo para finalização desse desafio. A minha família, pois acredito que sem o incentivo dela seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste estudo.

Le enseñó lo único que tenía que aprender para
el amor: que a la vida no la enseña nadie.
(García Márquez, Gabriel, 1985)

RESUMO

RAMIREZ, Thomas. **Avaliação estrutural mecânica básica de “spreader bar” para transporte de jumper em ambiente off-shore.** 2022. 93 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

O presente trabalho irá projetar uma “spreader bar”, que irá auxiliar no transporte de *jumper*, equipamento altamente utilizado no contexto *off-shore* na exploração de petróleo no Brasil e exterior. O presente estudo foi realizado para definição de todos os recursos mínimos necessários e identificação dos limites de uso para elaboração saudável na construção e delimitação. A partir dos mesmos, com base em normas nacionais e internacionais, foi possível indicar os materiais necessários, posição e dimensionamento da *spreader bar.*, limites de escoamento dos olhais e seus limites de uso.

Palavras-chave: Offshore. Spreader bar. Lifting bar.

ABSTRACT

RAMIREZ, Thomas. **Basic mechanical spreader bar structural evaluation for off-shore jumper transportation**. 2022. 93 pages. Course conclusion paper - Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

The present work will design a "spreader bar", which will assist in the transportation of jumper, equipment highly used in the offshore context in oil exploration in Brazil and abroad. The present study was carried out to define all the minimum necessary resources and to identify the limits of use for a healthy design in construction and delimitation. From the same, based on national and international standards, it was possible to indicate the necessary materials, position and dimensioning of the spreader bar, flow limits of the lugs and their limits of use.

Keywords:. Offshore. Spreader bar. Lifting bar..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Arranjo Convencional de Equipamentos <i>Off-shore</i> | 13 |
| Figura 2 - Composição dos tipos de navios no Brasil | 15 |
| Figura 3 - Embarcação PLSV Seven Oceans | 16 |
| Figura 4 - Instalação de <i>Manifold</i> por <i>Spreader Bar</i> | 17 |
| Figura 5 - Içamento de APL por <i>Spreader Bar</i> | 18 |
| Figura 6 - Verticalização de um lavador de gases feito de fibra de vidro..... | 19 |
| Figura 7 - Demanda por petróleo, por setor e taxa de crescimento médio, no NPS, mb/d e %21 | |
| Figura 8 - Histórico de produção de petróleo e gás natural (Mboe/d) | 23 |
| Figura 9 - Barra de içamento..... | 27 |
| Figura 10 - Diagrama de elementos do sistema | 28 |
| Figura 11 - Fluxograma de Metodologia..... | 33 |
| Figura 12 - Elevação de Jumper com <i>Spreader Bar</i> | 35 |
| Figura 13 - Detalhe flange intermediário | 36 |
| Figura 14 - Movimentação de carga içada errada | 37 |
| Figura 15 - Movimentação com angulação invertida..... | 37 |
| Figura 16 - Disposição correta Barra de Içamento..... | 38 |
| Figura 17 - Sistema de Conexão horizontal | 40 |
| Figura 18 - Sistema de conexão vertical | 40 |
| Figura 19 - Configurações de <i>jumpers</i> rígidos | 41 |
| Figura 20 - Configuração de um <i>spool</i> rígido em Z..... | 41 |
| Figura 21 - <i>Jumpers</i> Flexíveis | 42 |
| Figura 22 - Detalhe conjunto de Olhais <i>Spreader Bar</i> | 45 |
| Figura 23 - Visão Isométrica Olhais | 46 |
| Figura 24 - Olhais flange..... | 46 |
| Figura 25 - <i>Spreader Bar</i> isométrica..... | 47 |
| Figura 26 - Detalhe Flange..... | 48 |
| Figura 27 - Corte Isométrico Manilha de conexão com Jumper | 49 |
| Figura 28 - Turnblock Detail..... | 49 |
| Figura 29 - Foto Manilha | 50 |
| Figura 30- Geometria <i>Spreader Bar</i> e Jumper Fonte: Autor, 2022 | 54 |
| Figura 31 - Diagrama de Corpo Livre com as forças principais atuantes. | 55 |
| Figura 33 - Detalhe formação conjunto..... | 64 |
| Figura 34 - Geometria Olhal Superior - 35 t | 66 |
| Figura 35 - Geometria Olhal inferior – 17 t..... | 67 |
| Figura 36 - Olhais de içamento | 69 |
| Figura 37 - Detalhe Manilha | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação dos aços estruturais | 51 |
| Tabela 2 - Propriedades Mecânicas dos materiais | 52 |
| Tabela 3 - Propriedades do Tubo | 53 |
| Tabela 4 – Resultado de Cálculos da Tração | 57 |
| Tabela 5 – Resultados do Cálculo da Compressão | 59 |
| Tabela 6 – Resultados do Cálculo da Flexão | 62 |
| Tabela 7 – Resultados do Cálculo de Resistência ao cortante | 63 |
| Tabela 8 - Detalhes Geometricos Manilha | 70 |
| Tabela 9 – Consolidação de Fatores de Utilização | 71 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| A | Área de contato com a barra de içamento |
| ABEAM | Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo |
| AISC | American Institute of Steel Construction |
| ASD | <i>Allowable Stress Design</i> |
| A_n | Área líquida da barra |
| A_g | Área bruta da seção transversal da barra |
| A_e | Área líquida efetiva da seção transversal da barra |
| A_{max} | Máxima Largura Interna (Abertura) |
| BAT | Base de Abandono Temporário. Base para suporte do MCV, quando há necessidade deste permanecer repousado no solo marinho. |
| Bundle | Conjunto de mangueiras hidráulicas unidas para formar um umbilical “empacotado” e configurável. |
| CAE | Computer Aided Engineering |
| C_t | Coefficiente de redução da área líquida |
| C_l | Coefficiente dependente do tipo de içamento |
| C_f | Coefficiente de força na direção do vento |
| C_w | Constante de empenamento da seção transversal |
| C_{max} | Máximo Comprimento Interna |
| DAF | Dynamic Amplification Factor |
| DSV | <i>Diving Support Vessel</i> |
| DNV | Det Norske Veritas |
| $D_{pin.max}$ | Máxima diâmetro do Pino |
| E | Módulo de elasticidade do aço em uso; |
| f_u | resistência à ruptura do aço |
| f_y | resistência ao escoamento do aço |
| FPSO | <i>floating production storage and offloading</i> |
| FSV | <i>Fast Supply Vessel</i> |
| f_{dc} | fator de desvio de carga |
| f_{cp} | Fator de contingência de peso |
| f_{cg} | Fator incerteza no centro de gravidade |
| F_w | Força exercida pelo vento |
| F_{max} | Máxima diâmetro do Olhal |
| G | Módulo de elasticidade transversal do aço |
| I_x | Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x |
| I_y | Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y |
| I_z | Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo z |
| J | Constante de torção transversal |
| $K_x L_x$ | Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x |
| $K_y L_y$ | Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y |
| $K_z L_z$ | Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z |
| LRFD | <i>Load and Resistance Factor Design</i> |

| | |
|----------------------------------|--|
| LH | <i>Line handling</i> |
| MPSV | <i>Multi-Purpose Support Vessel</i> |
| MCVs | Módulo de Conexão Vertical |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| <i>Off-shore</i> | Do inglês, fora da costa, ou seja, afastada da terra/continente. Comumente refere-se ao que está no mar. |
| OTAN | Organização do Tratado do Atlântico Norte |
| OSRV | <i>Oil Spill Recovery Vessel</i> |
| OSV | <i>Offshore Supply Vessels</i> |
| <i>p</i> | Pressão do vento |
| PLSV | <i>Pipe Laying Support Vessel</i> |
| <i>r_o</i> | Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento |
| RSV | <i>Rov Support Vessel</i> |
| SKL | Skew Load Factor |
| SV | <i>Mini Suplly Vessel</i> |
| <i>T_{ef}</i> | Tensão de cisalhamento efetiva (obtida no cálculo) |
| <i>V_h</i> | Velocidade de içamento |
| WSV | <i>Well Stimulation Vessel</i> |
| σ_{vM} | Tensão combinada de von Mises |
| σ_{yef} | Tensão de escoamento efetiva (obtida no cálculo) |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO | 13 |
| 1.2 OBJETIVO PRINCIPAL | 20 |
| 1.3 OBJETIVO ESPECIFICOS | 20 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA..... | 20 |
| 1.5 METODOLOGIA PRELIMINAR..... | 23 |
| 1.6 CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS..... | 24 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 26 |
| 2.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE BARRAS DE IÇAMENTO..... | 26 |
| 2.1.1 Içamento de cargas | 26 |
| 2.1.2 Determinação de cargas..... | 27 |
| 2.1.3 Ponto de equilíbrio | 28 |
| 2.2 NORMAS PARA DIMENSINAMENTO DE BARRAS DE IÇAMENTO..... | 29 |
| 2.3 METODOLOGIA ASD E LRFD..... | 29 |
| 3 METODOLOGIA DO PROJETO | 32 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 34 |
| 4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO | 34 |
| 4.2 BARRAS DE IÇAMENTO | 36 |
| 4.2.1 Aplicações de Barras de Içamento | 36 |
| 4.3 JUMPERS | 38 |
| 4.3.1 Aspectos Gerais dos Jumpers | 39 |
| 4.3.2 Configurações..... | 40 |
| 4.3.3 Componentes..... | 42 |
| 4.4 OLHAIS | 44 |
| 4.4.1 Aspectos Gerais dos Olhais | 44 |
| 4.4.2 Aplicações dos Olhais | 46 |
| 4.5 ESTRUTURA PRINCIPAL..... | 47 |
| 4.5.1 Aspectos Gerais da Estrutura Principal..... | 47 |
| 4.6 SUPORTE JUMPER..... | 48 |
| 4.6.1 Aspectos Gerais | 48 |
| 4.7 PREMISSAS DE PROJETO..... | 50 |
| 4.7.1 Normas Utilizadas | 50 |
| 4.7.2 Materiais e Propriedades Mecânicas..... | 51 |
| 4.8 DADOS DO PROJETO | 53 |
| 4.8.1 Geometria..... | 53 |
| 4.8.2 Características de Carregamento | 54 |
| 4.9 CÁLCULO ANALÍTICO | 55 |
| 4.9.1 Área líquida | 55 |
| 4.9.2 Área líquida efetiva | 55 |
| 4.9.3 Força axial resistente de cálculo | 56 |
| 4.9.3.1 Flambagem Local e Global | 57 |
| 4.9.3.2 Resistência à Flexão | 61 |
| 4.9.3.3 Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento. . | 63 |
| 4.9.3.4 Deslocamento vertical..... | 64 |
| 4.9.4 Cálculo dos Olhais | 65 |
| 4.9.5 Cálculo de Manilha | 70 |

| | |
|--|-----------|
| 4.10 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS | 71 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 75 |
| 5.1 CRITICAS E COMENTÁRIOS | 75 |
| 5.2 COMENTÁRIOS PARA TRABALHOS FUTUROS | 76 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Trabalho

Um arranjo de instalação convencional de um poço de produção de petróleo típico em alto-mar é formado por vários elementos, onde pode-se destacar os seguintes: a plataforma de petróleo ou unidade de exportação que permite o escoamento do petróleo de alto mar ao continente e, que pode ser fixa, semi-submersa ou FPSO (*floating production storage and offloading*); a árvore de natal ou elemento de ligação e controle do poço; os “*manifolds*” ou estações de bombeamento; e, finalmente os *risers* ou tubulações de escoamento e os umbilicais ou cabos de força e dados). A figura 1 ilustra o sistema de interligação desses elementos.

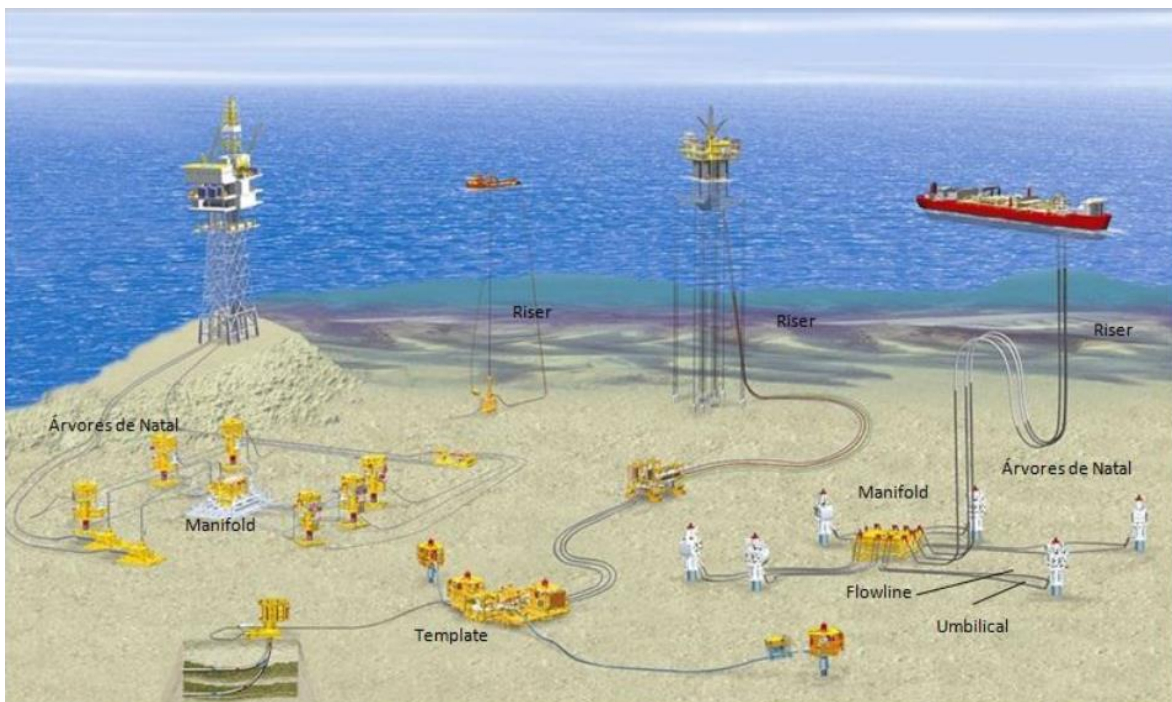


Figura 1 - Arranjo Convencional de Equipamentos *Off-shore*

Fonte: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006353.pdf>>. Acesso em 11/12/2020

De forma geral, os *risers* de conexão entre a plataforma e o poço submarino, podem ser subdivididos em cabos umbilicais e tubos rígidos ou flexíveis. Os umbilicais são cabos que permitem o acionamento dos mecanismos de controle dos diferentes equipamentos que auxiliam o escoamento do óleo e, os dutos rígidos e flexíveis são tubos ou linhas de transporte do fluido.

Para viabilizar a exploração de petróleo em águas ultra profundas (pré-sal), o desenvolvimento de novos *risers* que atendam as severas especificações da indústria e dos órgãos ambientais estão entre os principais desafios tecnológicos a ser desenvolvidos nos próximos anos.

O processo de instalação dos *risers* é uma das etapas do processo mais importantes e compreende desde o carregamento da linha nas diferentes bases operacionais ao longo da costa brasileira e que permitem esta atividade, até a preparação para o pré-comissionamento em alto mar.

Um dos pontos mais importantes no processo de instalação desses *rissers* é justamente o transporte, manuseio e lançamento deles, devido as altas condições de carregamento que cada projeto tem e, que influenciam fortemente nos métodos de instalação de cada sistema. Dessa forma, este tipo de atividade é realizada unicamente através de embarcações especiais chamadas de PLSV (*Pipe Laying Support Vessel*) e que possuem uma preparação e layout específico para este tipo de atividade.

O início da utilização desse tipo de embarcação, assim como a viabilidade econômica para sua fabricação, deve-se à descoberta de inúmeros campos de extração de combustíveis fósseis *off-shore* e, toda a necessidade de otimização nos processos de transporte de óleos e derivados nesse cenário altamente complexo e frágil.

Embarcações do tipo PLSV atualmente são uma das maiores frotas de navios de suporte no Brasil, de acordo com o relatório de Frota de embarcações de Apoio marítimo no Brasil da Associação brasileira das empresas de apoio marítimo (ABEAM), onde mais de 14 navios prestam serviços referentes a suporte técnico as unidades de produção, lançando, instalando e recolhendo linhas rígidas ou flexíveis no mar. Existem diversos modelos de navios disponíveis para cada uma dessas operações, com layouts de instalação de acordo com os tipos de serviços prestados, de acordo com o mesmo relatório é possível verificar na Figura 2 a sua respectiva composição.

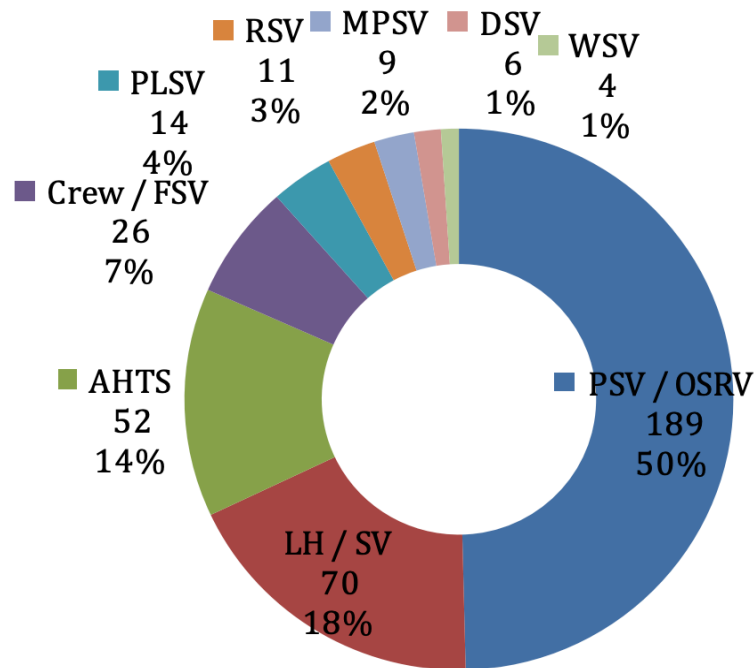


Figura 2 - Composição dos tipos de navios no Brasil

Fonte: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1729291>>

Em suas configurações originais, estas embarcações são capazes de instalar quilômetros de dutos com apenas um carregamento, que pode ser de: dutos rígidos, dutos flexíveis, umbilicais ou até mesmo de ambos dependendo do escopo de trabalho a ser executado. Em configurações específicas, também é possível instalar *manifolds*, ou outros equipamentos especiais, o que faz deles uma ótima solução para o mercado.

A Figura 3 ilustra uma embarcação para lançamento de linhas rígidas.



Figura 3 - Embarcação PLSV Seven Oceans
Fonte: <http://news.seadiscovery.com/?tag=/risers>

Nesse contexto, pode-se destacar a importância destas embarcações na cadeia de suprimentos e de sistemas de produção de petróleo. Os PLSVs são navios altamente específicos, complexos e especializados, projetados especificamente para este tipo de atividade e que contam com equipamentos com alta capacidade de içamento e sistemas sofisticados de controle de carga.

Alguns equipamentos comumente presentes na operação destas embarcações, são: Carreteis de estocagem de linhas ou Bobinas, Tensionadores, Guindastes, Guinchos, Cestas e Sistemas individuais de posicionamento dinâmico (DP) e *remotely operated vehicle* (ROV). Além dos equipamentos operacionais fixos, são necessários também equipamentos operacionais auxiliares que permitem a operação do dia a dia nas embarcações. Alguns destes equipamentos são: mesas de inspeção de MCVs, massames ou acessórios para montagens de lingadas, postes de carga e barras de carga (*Spreader Bar*). Todos esses equipamentos têm como característica principal, dar apoio as embarcações e possibilitar uma operabilidade maiores entre os PLSVs.

No mundo de operação *off-shore*, a utilização de um tipo de ferresta para vários tipos de operação de içamento de carga pesada ou leve e esbelta (passível de flexão) é uma prática normal e amplamente usada quando se fala especificamente de barras de carga ou *spreader Bar*. Por ser um item extremamente

versátil e adaptável a várias operações de transporte e correta distribuição de suas cargas, este equipamento pode ser visto e usado para vários fins, desde: carregamento de módulos de plataforma; carregamento de PLEMs e *Manifolds* ilustrados pela Figura 4.



Figura 4 - Instalação de *Manifold* por Spreader Bar

Fonte: Instalação De Manifold: Análise Das Forças Devido A Ondas Utilizando Análise Dinâmica No Domínio Do Tempo/Monique Galdino Pessanha – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2018. Acesso 11/12/2020

Outras estruturas como Flutuadores, *Jumpers* ou estruturas muito esbeltas que precisem de vários pontos de fixação e na indústria de forma geral, representados na Figuras 5 (APL).

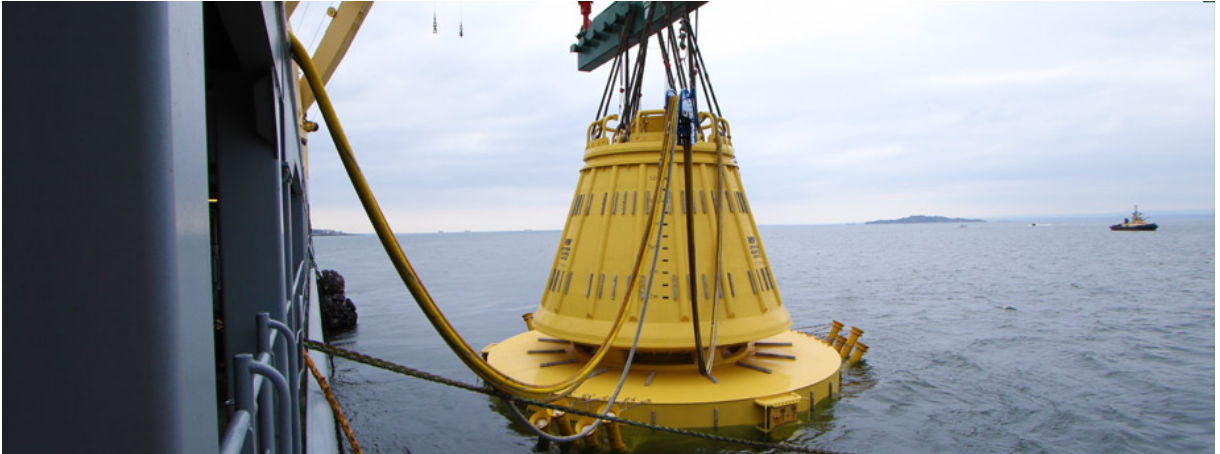


Figura 5 - Içamento de APL por Spreader Bar

Fonte: <<https://sal-heavylift.com/solutions/marine-projects/oil-gas-offshore>>. Acesso em 11/12/2020

A utilização desses tipos de barras de içamento não é necessariamente unicamente no ambiente *off-shore*, como no exemplo da Figura 6, é possível verificar o içamento de uma estrutura da indústria siderúrgica.



Figura 6 - Verticalização de um lavador de gases feito de fibra de vidro.
Fonte: <www.montcalm.com.br> Acesso em 14/02/2016

As *Spreader Bar's* normalmente são projetadas para uso específico de um tipo de içamento. Em alguns casos, é possível ter usos compostos, mas que necessariamente devem ser considerados em cada *load case* de carga e assim permitir seu uso variado. Sua função principal é realizar uma distribuição uniforme da carga, isto é, as cargas provenientes do içamento são convertidas em forças de compressão na barra e de tração nas eslingas de içamento.

Pela sua praticidade, são ferramentas que podem ser fabricadas para um único içamento. Na terminologia *off-shore* este tipo de item es conhecido como *Installation Aids*. Sendo assim, o presente trabalho irá validar um modelo de estrutura de *spread bar* usado para o auxílio do içamento de um *jumper* de 10t, que será usada para o auxílio de instalação de uma cobertura metálica numa embarcação do tipo PLSV.

O trabalho irá além do projeto da *spreader bar*, respeitando todas as premissas declaradas nas normas. Junto a isso mecânicas da barra de içamento e suas possíveis usos, de acordo como o material usado na barra e carga a ser içada. Sendo levado em consideração todos as condições de contorno que se aplicam a barra num içamento *on-shore* (águas abrigadas) assim como a avaliação estrutural dos olhais e o dimensionamento de sua solda.

1.2 Objetivo principal

Desenvolver e avaliar o projeto mecânico básico de uma *Spreader Bar* (barra de içamento) utilizada para içamento de um Jumper de 10 toneladas no ambiente *off-shore*, usado o Método dos Estados Limites (*LRFD - Load and Resistance Factor Design*) para sua verificação estrutural do estado de tensões e deformações que atuam nele. A verificação será embasada e irá respeitar as normas técnicas: normas técnicas: NBR 8800:2008, “N-2683 Estruturas Oceânicas – Olhal de Içamento – Dimensionamento”, “*Norsok Standard N-001 – Integrity of Offshore Structures*”, NBR 14762:2010, ANSI/AISC 360-16.

1.3 Objetivo específicos

São eles:

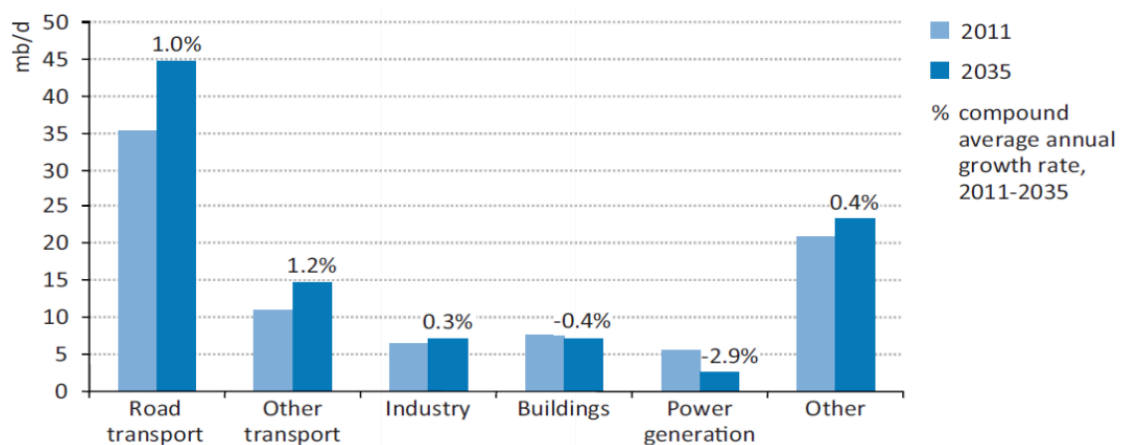
- a) Identificar e verificar os critérios de aceitação para os valores de tensão e deformação máximos pelo Método dos Estados Limites por meio da ANSI/AISC 360-16 e NBR 8800:2008 para uma barra de içamento em *off-shore*;
- b) Apresentar os valores das reações de apoio encontrados pelo método dos Estados Limites e que conformam o envelope de cargas e usa-los para validação do uso da *spreader bar* de acordo com a carga do *jumper*;
- c) Apresentar o cálculo analítico do dimensionamento dos elementos estruturais críticos como sua estrutura principal, os olhais de içamento assim como o detalhamento do tubo principal para entendimento dos valores e fatores minimamente considerados para o projeto;

1.4 Justificativa

A produção energética é crucial para a vida contemporânea, principalmente quando se diz respeito à realização de atividades industriais, independente do foco.

Carvão, gás natural e petróleo, fontes não renováveis de energia, respondem por cerca de 80% da produção energética mundial, de acordo com o levantamento da Agência Internacional de Energia de 2004 da Agência Internacional de Energia,

sendo o petróleo a fonte mais utilizada desde a Segunda Guerra Mundial. De acordo com o Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, a produção de março de 2020 teve um aumento de 16,1% maior se comparada com o mesmo mês em 2019. A produção nacional de derivados mostrou estabilidade em 2019, alcançando 1,8 milhão de barris/dia, equivalente a 76,5% da capacidade instalada de refino. As vendas de derivados pelas distribuidoras, por sua vez, evoluíram 0,7%, destacando as vendas de óleo diesel, com alta de 3%. É possível confirmar isso com o crescimento, de acordo com o Tendências De Longo Prazo no Cenário Energético Mundial: Agência Internacional De Energia – Weo 2012 é possível verificar na Figura 7 o crescimento da demanda por petróleo, dividido por setor e sua respectiva taxa de crescimento média no NPS até 2035.



Note: Other includes non-energy use, including feedstocks for industry.

Figura 7 - Demanda por petróleo, por setor e taxa de crescimento médio, no NPS, mb/d e %
Fonte: WEO 2012, Agência Internacional de Energia

E nesse contexto, o Brasil se manteve em linha com o os níveis de exploração de Oléo e Gás Natural. Visto isso, “O petróleo é um material fóssil, oleoso e inflamável, de alto valor energético” (Agência Nacional do Petróleo, Gás

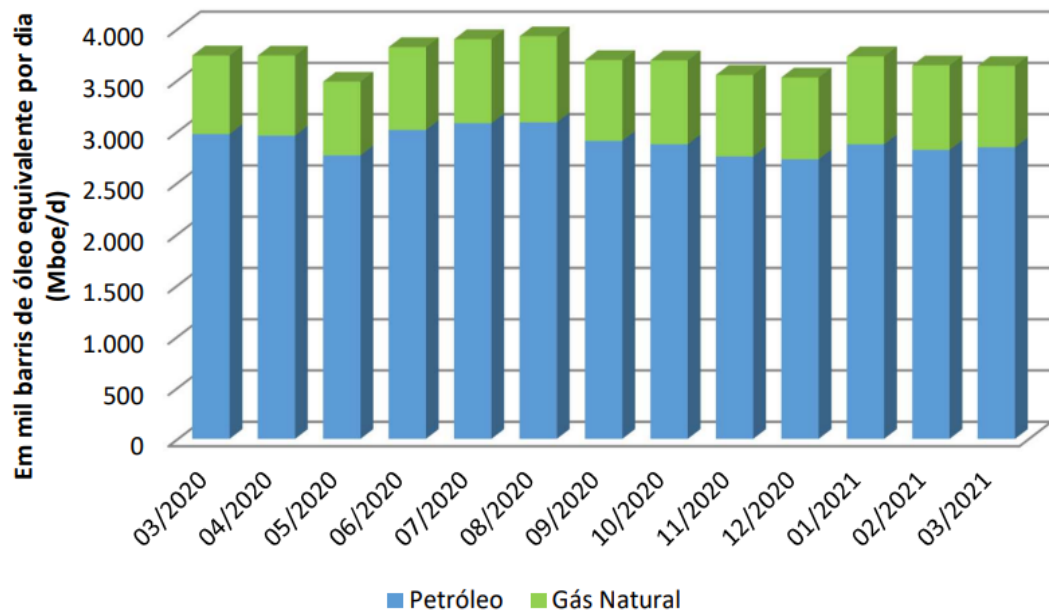
Natural e Biocombustíveis) e sua exploração no Brasil passou por cinco fases até os dias atuais.

A primeira fase, com início em 1864, foi marcada pela procura de jazidas de petróleo para a fabricação de “óleo e gás iluminantes”, com o objetivo de substituir o óleo de baleia, que começava a se tornar escasso e caro. Realizada por exploradores independentes, sem iniciativas governamentais, nenhuma descoberta importante foi feita durante essa fase. A segunda e terceira fases foram marcadas pela participação direta do governo nas explorações devido aos riscos de depender exclusivamente de petróleo importado e pela criação, em 1953, da Petrobrás. Durante essas fases, as descobertas ainda eram insuficientes para mudar o panorama de dependência do petróleo importado.

Na quarta fase, de 1974 até 2006, houve um ciclo de importantes descobertas que levaram ao crescimento das reservas brasileiras e em 2006 a produção passou a atender as necessidades nacionais. A quinta fase iniciou-se em 2006 com a descoberta de reservas gigantes na camada geológica do pré-sal. Estima-se que em 2020 a produção proveniente desses reservatórios representará 47% da produção total de petróleo da Petrobras. (MORAIS, 2013, p. 23)

A partir da figura 8 é possível identificar o histórico da produção de óleo e gás nacional ao longo dos anos últimos meses, e, de acordo com o relatório da Agência Nacional de Petróleo (ANP) manteve um crescimento sutil ao longo dos meses. Sendo a de petróleo no mês de dezembro no ano de 2019, 15,4% maior se comparado com o ano anterior (2018). O crescimento também é visível na produção de gás natural que teve um crescimento de 21,1% em relação ao mesmo período do ano anterior.

Histórico de produção de petróleo e gás natural



Fonte: ANP/SDP/SIGEP
Março/2021

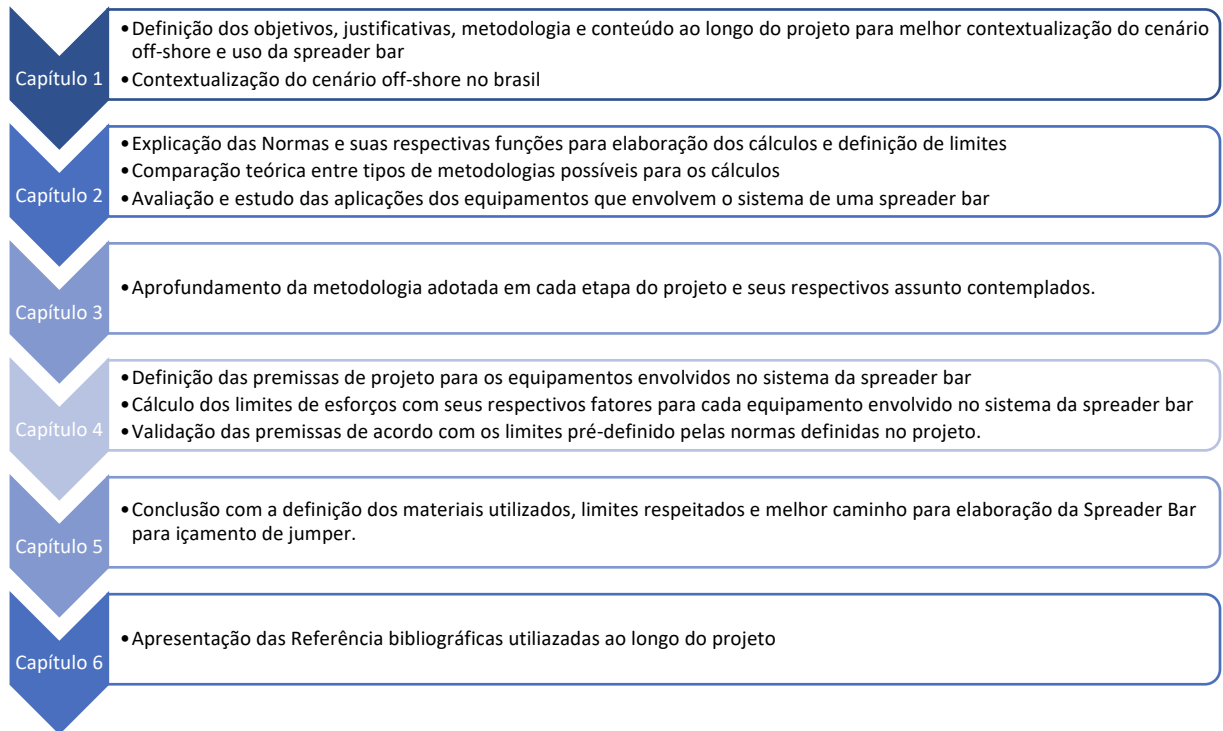
Figura 8 - Histórico de produção de petróleo e gás natural (Mboe/d)
Fonte: ANP/SDP/SIGEP (MARÇO/2021)

A partir dessa constância, importância e das estimativas otimistas de aumento para os próximos anos, a necessidade de projetos mecânicos como ferramentas auxiliares para instalação, são estratégicos e continuaram em alta, uma vez que equipamentos e peças como barra de içamento são altamente utilizadas para transporte de cargas e equipamentos ao longo das embarcações desse ramo, enquanto as embarcações se encontram *off-shore* ou *on-shore* (como no caso deste projeto), minimizando os riscos nas operações e agilizando o processo de instalação de estruturas metálicas de reparo. Foi pensando na redução do custo de uma instalação *off-shore* que este projeto foi produzido.

1.5 Metodologia preliminar

A execução do projeto consiste na definição de suas diretrizes de projeto, assim como a definição dos objetivos esperados ao fim do trabalho, sendo suportado pela fundamentação teórica dos mais importantes tópicos do projeto

(*Spread Bar Frame* ou estrutura primária, olhais de fixação e de içamento e, os seus elementos de ligação - solda), utilizando cálculo analítico para verificação estrutural e conformação de suas condições de contorno impostas na sua utilização. De acordo com o Macrofluxo à baixo é possível ter uma melhor visibilidade



1.6 Conteúdo dos capítulos

Este trabalho está organizado em capítulos. Uma breve descrição desses capítulos é feita a seguir:

O capítulo 1 apresenta a introdução do projeto final, dando contexto ao objeto de estudo dentro do cenário Offshore e sua relevância. Junto a isso, também, são apresentados os objetivos – gerais e específicos - do projeto e a justificativa para criação do mesmo.

O capítulo 2 contém a fundamentação teórica e conceitual de todo o projeto, assim como o estudo das normas utilizadas no desenvolvimento dos cálculos analíticos dos principais elementos estruturais.

O capítulo 3 descreve a metodologia adotada ao longo do projeto. Nele é descrito todo o processo de execução do projeto, desde a pesquisa bibliográfica, a validação das estruturas, atendendo aos critérios de aceitação.

O capítulo 4 apresenta uma descrição das estruturas a serem projetadas neste trabalho. Nele são apresentados o modo das barras de içamento e suas aplicações, as normas que serão utilizadas na verificação analítica das estruturas também são apresentadas neste capítulo. Junto com o dimensionamento mecânica dos elementos envolvidos no projeto. Tanto da barra de içamento quanto dos olhais usados.

O capítulo 5 contém as considerações finais do projeto, apresentando breve análise dos resultados e sugestões para desenvolvimento posterior.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concepção estrutural de barras de içamento

Segundo Bellei (2000, p. 3 apud JOHNSTOM; LIM, 1980) para enfatizar a importância da concepção do projeto estrutural e seu modelo de cálculo: “A mentalidade da engenharia estrutural é aquela capaz de visualizar a estrutura real, as cargas sobre ela, enfim, sentir como estas cargas são transmitidas através dos vários elementos”. Desta forma, ter um embasamento teórico para as análises estruturais é igualmente importante que conhecer e entender os fundamentos de concepção do projeto. De acordo com ASME (2017) um dispositivo de içamento (*below-the-hook device*) é um dispositivo usado para interliga a carga ao guindaste DNVGL-ST-N001. Esses dispositivos são construídos para movimentação de cargas muito particulares devido ao seu tamanho, forma ou centro de gravidade e podem ser mecânicos, eletrônicos, hidráulicos ou pneumáticos.

2.1.1 Içamento de cargas

Na indústria de forma geral, o içamento de cargas é uma atividade fundamental e muitas vezes crítica, que envolve alto risco e responsabilidade civil. Segundo Bellei; Pinho & Pinho (2008, p.263) “um içamento não pode ser realizado de maneira segura até que todos os esforços e cargas envolvidos tenham seu valor conhecido, certificando-se de que o guindaste e os acessórios de içamento [*spreader bar*] estejam operando dentro de sua capacidade”

A partir desse contexto, as barras de içamento ou *spreader bars*, representada na figura 9, como são mais conhecidas na indústria *off-shore*, cumprem um papel importante no içamento de cargas leves ou pesadas içadas por guindastes. Seguem um princípio básico de funcionamento que é distribuir os esforços provenientes das cargas içadas de forma uniforme em mais de um ponto, gerando assim mais estabilidade na carga. São equipamentos projetados normalmente para atender uma necessidade e carga específica, dessa forma, suas

dimensões e especificações são únicas e restritivas as cargas, não devendo ser usadas para outro fim ou outro içamento, sem a devida reavaliação estrutural.



Figura 9 - Barra de içamento

Fonte: Disponível em: < <http://www.spartaengineering.com/need-spreader-bar/>>. Acesso em 19/12/2020

O design das barras de içamento normalmente segue um mesmo critério: olhais posicionados nas extremidades da barra que permitem a fixação dos pontos de içamento superiores é inferior, transferindo as cargas das extremidades ao ponto de içamento por médio de lingadas que trabalham em ângulos com variação angular entre 45° e 60° . Pelo lado das cargas, a barra de içamento recebe uma carga de compressão e esforços de tração nos olhos de fixação, não devendo apresentar deformação por flexão.

2.1.2 Determinação de cargas

Das barras de içamento operam como um elemento de distribuição de cargas e dessa forma, é necessário que cada elemento que compõe o sistema de içamento de uma carga qualquer, seja analisado estruturalmente e que a determinação das cargas atuantes siga minimamente o conceito exposto por Bellei; Pinho & Pinho (2008):

As cargas a serem içadas são fruto da força da gravidade sobre a massa das peças. A massa depende da natureza do material, chamada de densidade. A aceleração da gravidade incidindo sobre um corpo provoca uma força na direção vertical, de cima para baixo, partindo do seu Centro de Gravidade CG. Quando os corpos estão sobre o sol, este reage com uma força igual e de sentido contrário, chamada reação de apoio e o corpo fica em repouso, quando falta esse apoio, a força de reação deixa de existir e o corpo cai (2008, p.263)

Embora a carga a ser içada pela barra de içamento apresentada neste trabalho, sugira vários pontos de içamento num plano horizontal, o esquema de cargas a ser analisado pode ser representado de forma vertical, conforme a Figura 10.

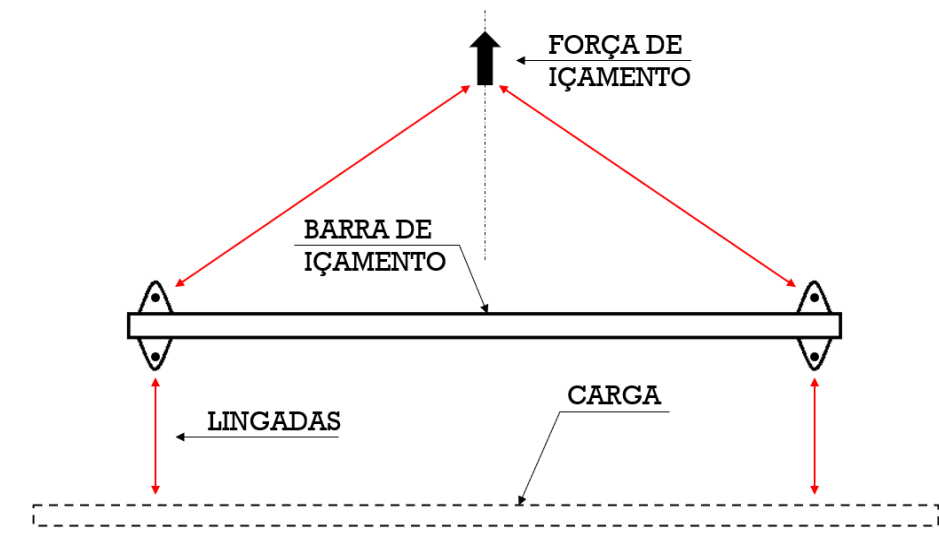


Figura 10 - Diagrama de elementos do sistema

A verificação analítica da barra de içamento dimensionada neste trabalho foi realizada de acordo com a norma NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010.

2.1.3 Ponto de equilíbrio

Segundo Bellei; Pinho & Pinho (2008, p.263) “o centro de gravidade de um sólido é o seu ponto de equilíbrio. Todo pedaço da peça atua como se estivesse concentrado nesse ponto. O cálculo ou posicionamento do Centro de Gravidade é de suma importância para o sucesso do levantamento de cargas”. Assim como Okuno & Fratin (2003) que define: “Local em um corpo onde é aplicada a resultante das forças peso, como se toda a massa do corpo estivesse concentrada neste ponto”. Conceito que deve ser bem definido e estar claro no projeto para o correto equilíbrio das cargas e das forças atuantes na barra de içamento.

2.2 Normas para dimensionamento de barras de içamento

No dimensionamento de uma estrutura são utilizadas normas para execução de projetos normalmente de organizações internacionais que atendem a indústria de óleo e gás e suportam todas as atividades de construção em aço estrutural por meio da padronização e certificação. Fornecendo os parâmetros para execução de projetos em atividades *off-shore*. Assim os fatores de segurança amplamente adotados no Brasil, são da *American Institute of Steel Construction (AISC)* que forneceu as regras e recomendações usadas para a elaboração do cálculo apresentado neste trabalho.

Para o dimensionamento dos olhais de içamento, foi selecionada a norma N-2683 Estruturas Oceânicas – Olhal de Içamento – Dimensionamento NBR 14762:2010, da Petrobras, a qual é formulada com material dedicado as limitações de uso, regras de cálculo para olhais. Para o dimensionamento da barra de içamento foi selecionada as normas NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010, as quais são formuladas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), aprofunda de maneira clara melhores práticas e limites a serem considerados nas estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de içamento. Para definição dos critérios de aceitação foram estimados de acordo com *Specification for Structural Steel Buildings (AISC ASD 9th Edition)* AISC-LRFD a qual é o resultado das deliberações de um comitê de engenheiros de estruturas com vasta experiência americanos sobre avaliação de estruturas metálicas, suas aplicações e respectivas fatores de segurança de acordo com o uso e NBR 8800:2008.

Essas normas foram selecionadas por apresentarem, dentre as normas avaliadas, os critérios de dimensionamento mais específicos e de acordo com a aplicação do projeto. Para o dimensionamento das estruturas, planilhas automatizadas foram criadas utilizando alguns critérios para que sua utilização seja válida.

2.3 Metodologia ASD e LRFD

Uma operação de içamento em ambiente offshore está sujeita a diferentes níveis de incerteza que podem ser maiores ou menores de acordo com o

carregamento associado. Além disso, existem os níveis de incerteza associados a capacidade resistente dos elementos estruturais e até mesmo nos métodos matemáticos. Duas filosofias de projeto estão atualmente em uso, o Método das Tensões Admissíveis (*ASD - Allowable Stress Design*) e o Método dos Estados Limites (*LRFD - Load and Resistance Factor Design*) [17].

O ASD é mais antigo. As incertezas relacionadas a cada tipo de carregamento não são consideradas, ou seja, as incertezas do projeto são consideradas por um único fator de segurança associado a cada tipo de solicitação.

No LRFD, o índice de segurança é mais homogêneo, pois os fatores aplicados nos carregamentos e na peça consideram cada um, o seu tipo e as suas incertezas. O LRFD se torna mais atrativo em casos de combinação de cargas que permite o uso melhor e mais econômico do material, e adiciona um benefício à segurança pois considera as diferenças entre cargas de natureza distintas.

Bellei; Pinho & Pinho (2008) mencionam que o método dos estados limites é baseado em adaptações de métodos probabilísticos, onde maiores incertezas previstas nas ações ou resistências geram maiores fatores de segurança. Normas como CAN/CSA 516-01 e EUROCODE3 baseiam-se neste método como critério de segurança. No Brasil, a partir de 1986, a ABNT NBR 8800:2008 se baseia essencialmente na AISC-LRFD e na ABNT NBR 8681 NBR 14762:2010, para a verificação da segurança estrutural.

O conceito de estados limites pode ser definido como, o ponto onde uma estrutura não satisfaz mais os objetivos para os quais foi projetada. Estes estados são divididos em:

- a) Estados limites últimos (ELU), relacionados com a segurança da estrutura na sua vida útil; e
- b) Estados limites de serviço (ELS), relacionados com desempenho da estrutura em condições normais de utilização.

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 nas condições de ELU, quando a segurança é verificada isoladamente para os esforços atuantes, a expressão de segurança simplificada é:

$$R_d \geq S_d \quad (1)$$

Ou

$$S_d = S(\sum \gamma_{fi} F_i) < R_d = R_{(Ru/\gamma_m)}$$

Onde:

$S_d = \gamma_f \cdot S \rightarrow$ Representa os valores de cálculo dos esforços atuantes, com base nas combinações últimas das ações. São obtidos multiplicando cada tipo de esforço (S) que compõe a combinação, pelos respectivos coeficientes de ponderação (γ_f) que representam as incertezas das solicitações.

$R_d = R_u / \gamma_m \rightarrow$ Representa os valores de cálculo dos esforços resistentes. São obtidos dividindo as resistências últimas (R_u), pelo respectivo coeficiente de ponderação (γ_m) que representam as incertezas das resistências.

3 METODOLOGIA DO PROJETO

Primeiro foi realizado estudo bibliográfico para identificar trabalhos correlatos e coletar informações sobre as estruturas objetos deste trabalho. Em seguida, foram estudadas normas nacionais e internacionais aplicáveis ao projeto das estruturas em questão. Em seguida o aprofundamento com a fundamentação teórica, foi definido como o melhor método e a forma de cálculo desse tipo de estrutura a metodologia chamada *Load and Resistance Factor Design* (LRFD), tal como exposto ao longo deste presente trabalho e na memória de cálculo e explicado o passo a passo do projeto. Logo em sequência foi iniciado o desenho do projeto da *Spreader Bar* junto a declaração dos materiais utilizados para fabricação dela.

Após todo a fundamentação, desenho e definição dos materiais utilizados, foram realizados os cálculos mínimos para a redução da *Spreader Bar* utilizando a AISC junto com a NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010 e dos olhais de içamento conforme a (N-2683). Após os resultados de todos os cálculos, ocorreu a verificação dos fatores de utilização comprovando a viabilidade do dimensionamento previamente feito para os olhais e barra de içamento. Por fim, são declaradas as conclusões associadas à redução de cálculo deste trabalho, declarando os resultados, limites máximos e sucesso nas cargas de acordo com os fatores de segurança estimados em norma. seguindo com sugestões de trabalhos futuros a partir do presente projeto. O passo a passo é ilustrado na figura 11.

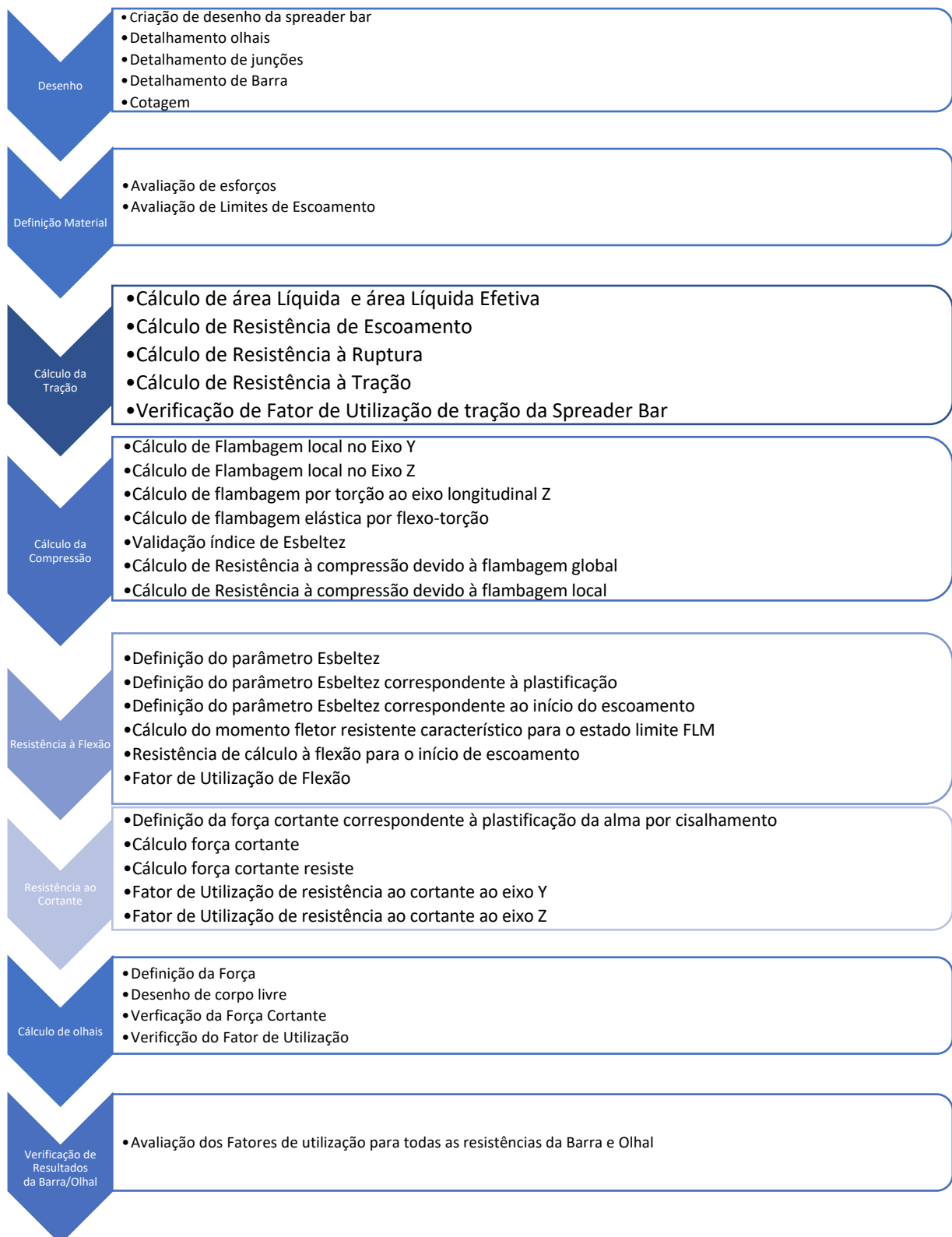


Figura 11 - Fluxograma de Metodologia
Fonte: Autor, 2022

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Apresentação do projeto

A *spreader* bar estudada e dimensionada neste projeto foi projetada para movimentação de um *Jumper* de 10 toneladas em uma operação *off-shore* representada na Figura 28 conforme citado anteriormente. Sendo composta por lingada, manilhas, cabos de aço tradicional e anelão. Toda a discriminação dos pontos de 1 à 12 conforme a Figura 12 estão detalhados no Apêndice C.

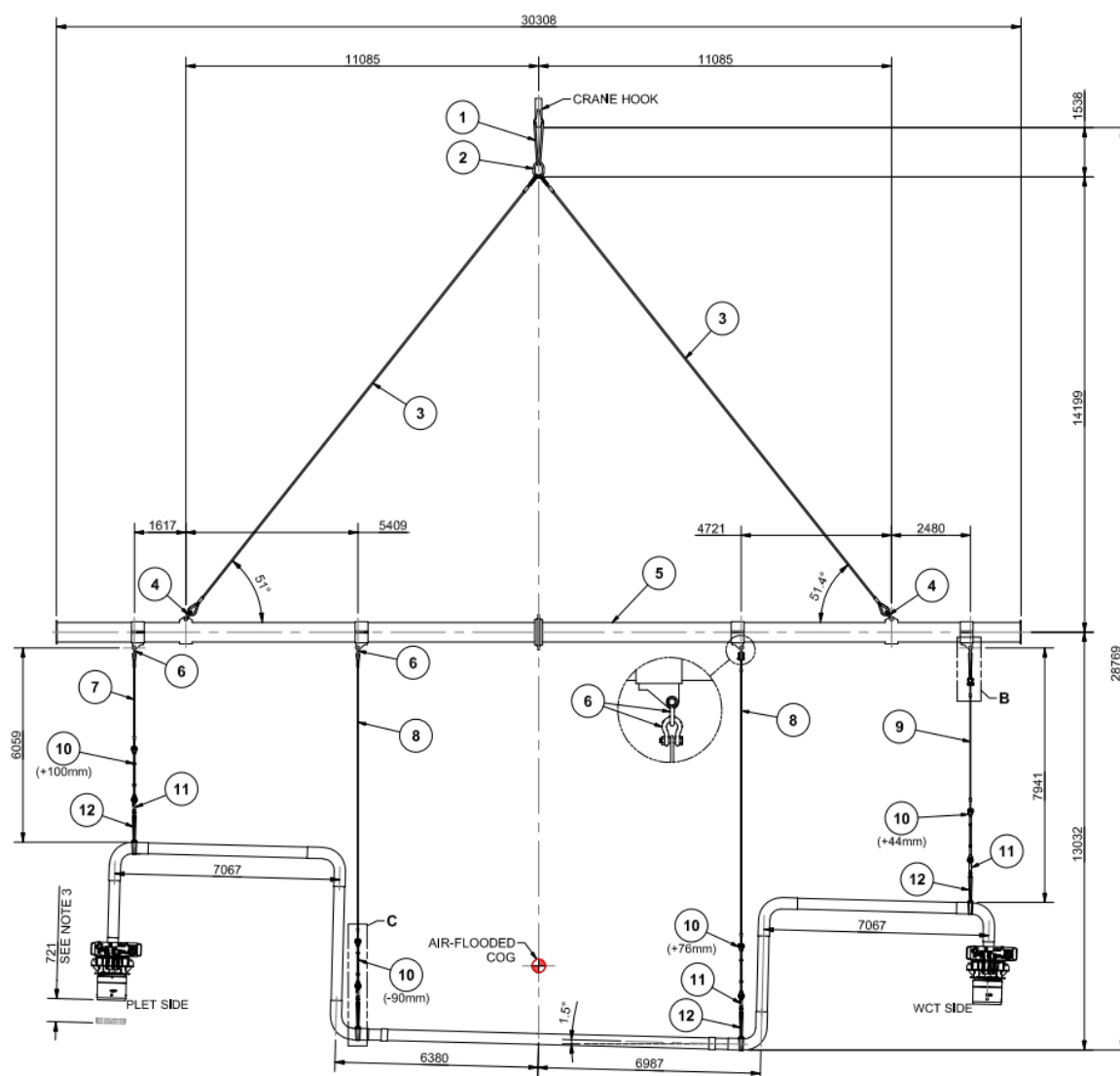


Figura 12 - Elevação de Jumper com Spreader Bar
Fonte: Autor, 2022

A barra de içamento, representada pela Figura 13 apresenta um flange intermediário que realiza a conexão entre os dois principais tubos, contudo ele foi estimado unicamente para a necessidades de transporte e armazenamento, não sendo significativo para os cálculos de composição da carga nominal estática.

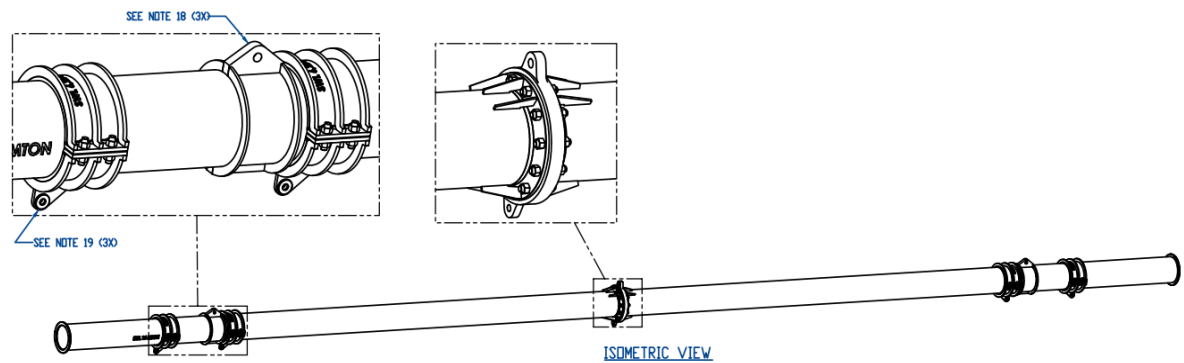


Figura 13 - Detalhe flange intermediário
Fonte: Autor, 2022

4.2 Barras de içamento

4.2.1 Aplicações de Barras de içamento

O uso das barras de içamento deve seguir uma forma correta de ordenação, de modo que a disposição da carga e cabos deve seguir uma organização mínima para inibição de possíveis acidentes e problemas operacionais. De acordo com a Figura 14, é possível verificar que a falta de alinhamento do seu centro de massa com o centro da carga, pode ocasionar escorregamento e queda.

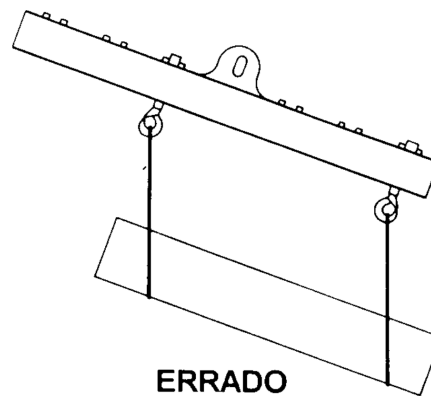


Figura 14 - Movimentação de carga içada errada
Fonte: Companhia siderúrgica de Tubarão

O mesmo para a Figura 15, a qual demonstra uma disposição de cabos com angulação invertida, movimentos podem ocasionar a queda na direção à baixo da *spreader bar*.

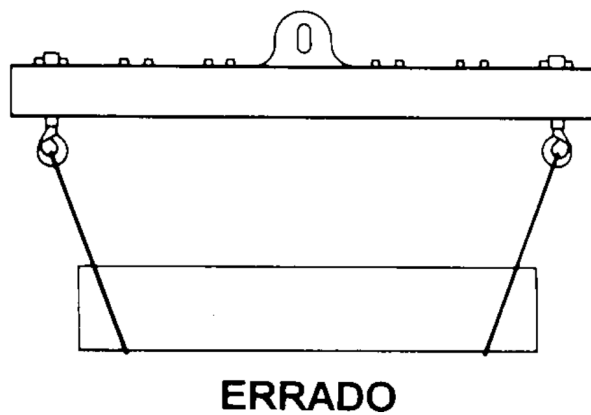


Figura 15 - Movimentação com angulação invertida
Fonte: Companhia siderúrgica de Tubarão

Dessa forma, é necessário manter o centro de gravidade alinhado, junto com a angulação perpendicular da disposição conforme Figura 16 dos cabos. Assim será garantida a isenção de acidentes.

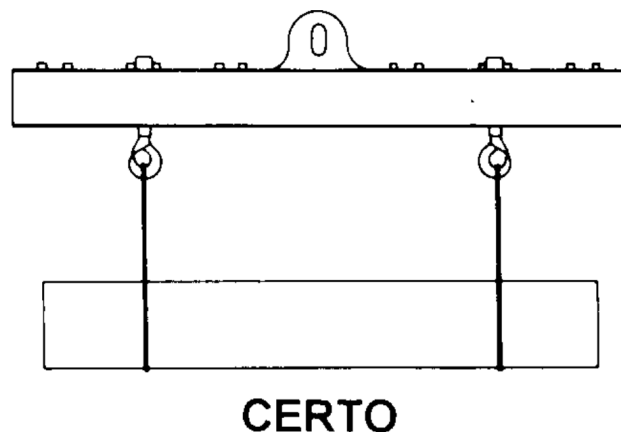


Figura 16 - Disposição correta Barra de içamento
Fonte: Companhia siderúrgica de Tubarão

4.3 Jumpers

Jumpers são estruturas de concatenação submarinas que apresenta como principal funcionalidade prover a ligação/interface entre dois equipamentos e são usados para transportar fluido entre dois componentes do ambiente *off-shore*. Para exemplificar é possível mencionar a árvore de natal, *manifold*, PLEMs e PLETs anteriormente mencionado nesse trabalho e, também, podem ser usados para injetar água ou produtos químicos em poços de alta profundidade.

Essa estrutura tem como principal objetivo fornecer flexibilidade e continuidade aos sistemas de produção submarinos, ou seja, realizar a conexão entre os vários equipamentos presentes no leito marinho de forma ótima. Além de ser capaz de otimizar o layout do sistema submarino e solucionar problemas relacionados à batimetria. Além disso, *jumpers* são projetados para acomodar a contração e expansão devido a variação de temperatura e pressão de *risers* e *flowlines*. Além de resistir às cargas estáticas devido à metrologia, pressão interna e externa, carregamentos ambientais, tolerâncias de fabricação, peso próprio e cargas de interação com as estruturas a que estão conectados.

4.3.1 Aspectos Gerais dos Jumpers

Diferentes tipos de conexões horizontais (Figura 17) e verticais (Figura 18) são comumente usadas nos sistemas de produção submarino. Sistemas de conexão horizontal são usados principalmente em águas rasas e a maioria desses *spools* é conectada por *flanges*. Já em sistemas de conexão verticais, que é o caso do presente trabalho, conectores mecânicos ou hidráulicos tipo *collet* são utilizados nas extremidades. Algumas das características entre os sistemas podem ser comparadas abaixo:

- Equipamento de conexão requerido: Em conexões verticais, confia-se em ROV para realizar a instalação, de forma mais simples que as conexões horizontais;
- Complexidade e tamanho do conector: Para conexões horizontais, flanges API/ANSI ou conectores tipo braçadeira são utilizados e o peso é baixo, principalmente comparados aos conectores utilizados em conexões verticais, onde são requeridos conectores tipo *collet*;
- Tolerâncias de fabricação e metrologia: Para conexões horizontais, um nível médio de precisão é requerido pois o alinhamento poder ser realizado a partir de deformação elástica. Para conexões verticais a precisão requerida é maior pois não meios de corrigir o desalinhamento, e ele torna-se um carregamento imposto ao conector;
- Requerimentos de navio de instalação: Para conexões horizontais, navio com sistema de posicionamento de especificação relativamente baixa, sem necessidade de um grande espaço no convés do navio. Para conexões verticais, a especificação do sistema de posicionamento deve ser relativamente alta com RAO estável e janela de operação grande;
- Influência do clima: Em conexões horizontais a influência é baixa dado que a operação é independente do movimento do navio. Em conexões verticais é alta.

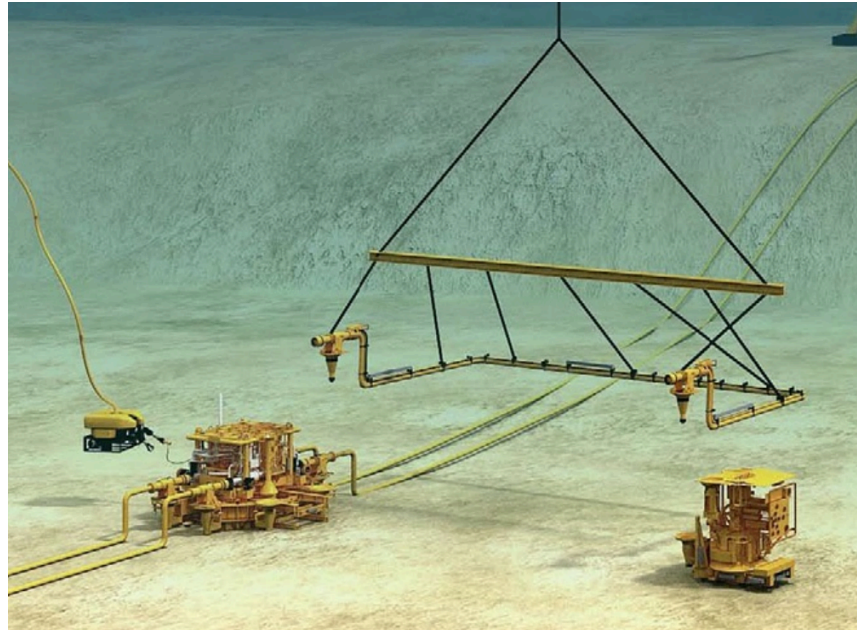


Figura 17 - Sistema de Conexão horizontal
Fonte: WORLDOIL, 2013

O exemplo de aplicação da Figura 17 é exatamente o associado ao presente trabalho.

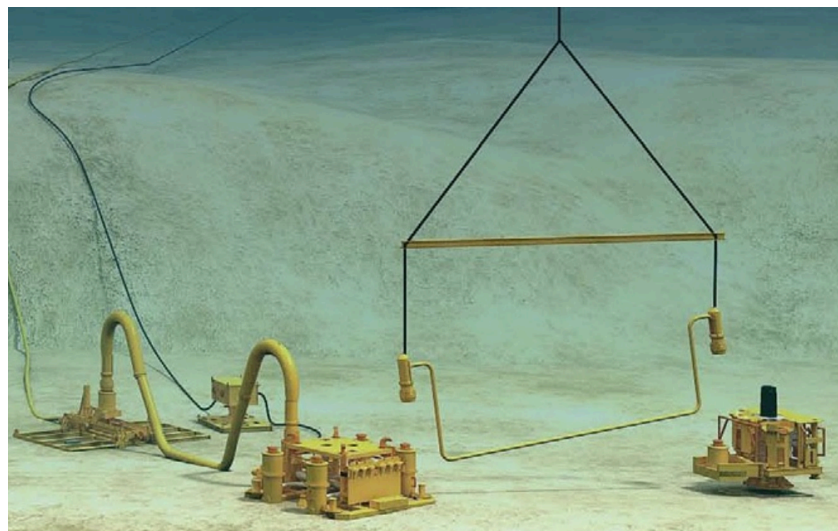


Figura 18 - Sistema de conexão vertical
Fonte: WORLDOIL, 2013

4.3.2 Configurações

Jumpers típicos são constituídos de um trecho curto de tubo entre dois conectores. *Jumpers* rígidos são formados por estruturas tubulares rígidas e sua

configuração é definida a partir da interface com os equipamentos, parâmetros de projeto e os diferentes modos que o *jumper* irá operar. Configurações 2D comuns, mostradas na Figura 19, são o U invertido, o formato em M, com curvas ou cotovelos. Escopo deste trabalho, o jumper com formato em M possui curvas de 90 graus que conectam os trechos retos que trazem a desejada flexibilidade ao sistema. *Spools* rígidos podem ser modelados de diferentes formas, como L, Z e U.

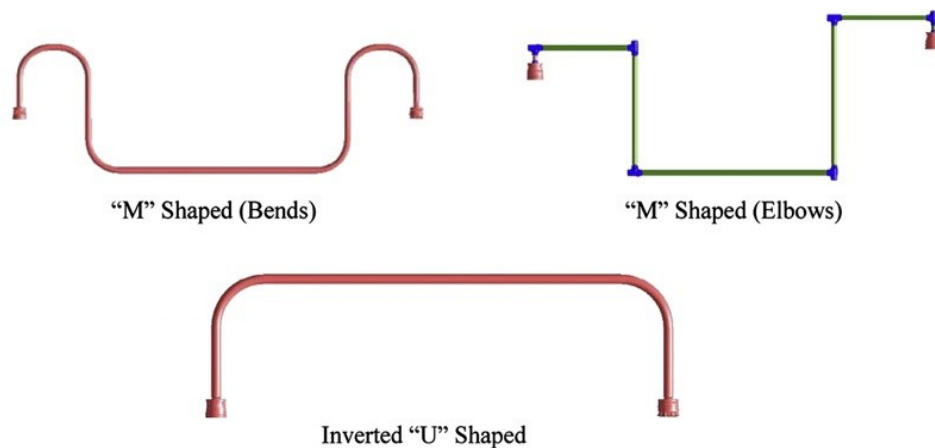


Figura 19 - Configurações de *jumpers* rígidos
Fonte: [BAY, 2010]

Na Figura 20, é apresentado um *spool* rígido no formato em Z.



Figura 20 - Configuração de um *spool* rígido em Z
Fonte: <www.montcalm.com.br> Acesso em 14/02/2016

O projeto de um *jumper* deve levar em consideração também carregamentos dinâmicos. Estes podem se apresentar tanto externamente, devido aos

carregamentos ambientais como onda e corrente marinha, ou mesmo por situações extremas, como carregamentos sísmicos causados por terremotos quanto internamente, induzidos pelo fluido contido dentro do tubo. A resposta dinâmica do *jumper* rígido pode ser significativamente suscetível as vibrações causadas pelo fluxo de fluido interno e ao fenômeno de Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV) causada por correntes marinhas.

Se o trecho de tubo entre os conectores for flexível, o *jumper* é chamado de flexível. *Jumpers* flexíveis são usados para transportar fluidos entre os dois equipamentos submarinos aos quais está conectado. Além disso, são usados para separar o *riser* rígido do navio para isolar o *riser* da fadiga devido ao movimento dos FPSOs. *Jumpers* rígidos e flexíveis são utilizados em conjunto em um sistema de *riser* híbrido (FSHR), como mostrado na Figura 21. O FSHR consiste em um *riser* tensionado por um módulo flutuador conectando o *riser* de topo ao FPSO. Um *jumper* rígido em M é utilizado para conectar o *riser* vertical ao PLEM.

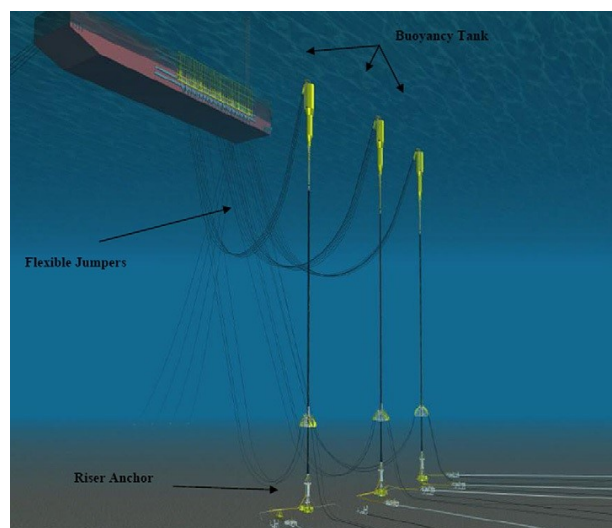


Figura 21 - Jumpers Flexíveis
Fonte: WORLDOIL, 2013

4.3.3 Componentes

O sistema de conexão do *jumper* é composto por *pup-pieces*, um tubo de aço e conexões mecânicas em cada extremidade para ligação com os equipamentos submarinos. A superfície de conexão é chamada de *HUB*,

sendo este o ponto de transferência de carga para as estruturas. A vedação metálica é mantida e protegida dentro do conector durante a instalação e recuperação. O projeto do conector é elaborado para que este seja capaz de resistir às cargas de projeto devidas aos efeitos combinados de flexão, temperatura, torção e pressão.

O conector deve ter os seguintes componentes:

- Superfícies de vedação de metal-metal feitas com liga resistente à corrosão; as selagens das superfícies devem ser relativamente insensíveis a pequenos defeitos e contaminantes, de modo a manter a integridade da vedação na presença de torsores máximos e momentos fletores;
- Uma vedação metálica com um elastômero de *backup*;
- Um mecanismo concebido para resistir às forças longitudinais e laterais que podem ser encontradas no processo descida final e alinhamento, antes da finalização da conexão;
- Um sistema hidráulico secundário de alívio, chamado de *soft-landing* ou um sistema mecânico de alívio; este sistema é capaz de absorver alguns deslocamentos e inclinações e até choques. Ele é responsável por suportar o peso do *jumper* durante a instalação, isolando este dos movimentos da embarcação e isolar o conector.
- Indicadores de posição mecânicos para indicar operações de bloqueio e desbloqueio claramente legíveis por um ROV;

O conector deve ser projetado para satisfazer os seguintes requisitos:

- O conector deve proteger as superfícies de vedação durante a recuperação e o lançamento, além de também proteger os selos;

- O conector não deve deformar permanentemente o *hub* de acoplamento durante a conexão;
- O conector deve reter o selo metal-metal durante a instalação e recuperação do *jumper*. O selo de metal deve ser capaz de ser substituído por um ROV sem a necessidade de trazer o *jumper* para a superfície;

4.4 Olhais

4.4.1 Aspectos Gerais dos Olhais

Neste projeto serão dimensionados olhais para a barra de içamento e para a estrutura principal. O correto e devido dimensionamento dos mesmos é de alta importância para que as estruturas trabalhem e sejam mantidas de acordo com desejado e esperado.

Retomando um pouco o conceito, os olhais são aqueles que são responsáveis por transmitir os esforços para a barra de içamento e por isso seu dimensionamento e calculo deve ser realizado com bastante cuidado. Um dos pontos mais importantes, por exemplo, deve ser a distância do olhal para a linha neutra da barra, qual irá determinar o esforço de flexão transmitida para a mesma. Um ponto como esse é decisivo na validação do projeto como um todo.

Além disso, na estrutura principal, o correto dimensionamento dos olhais tem papel decisivo já que os mesmos devem suportar os esforços oriundos do içamento da estrutura elevada. Além disso, seu correto posicionamento na estrutura também é importante já que os mesmos serão conectados à barra de içamento para realização do movimento.

A partir do entendimento da importância dos olhas, foi definido que os olhais da presente *Spreader Bar* serão calculados utilizando a norma N-2683 (2010) NBR 14762:2010. Esta Norma estabelece os requisitos mínimos a serem atendidos.

Algumas considerações devem ser adotadas para a aplicação desta norma, tais como:

- Direção da Força: O olhal de içamento deve ser projetado de maneira a minimizar o surgimento de cargas fora do plano da chapa do olhal e da manilha. Configurações que levem à falha com desvios moderados da força da lingada devem ser evitadas;
- O encaixe da manilha no olhal deve ocorrer sem interferências, inclusive deve ser verificado se há espaço para a inserção do cabo de içamento entre a manilha e o olhal;
- A manilha deve ser selecionada para uma carga de trabalho igual ou maior do que a força na lingada;
- Deve haver folga de montagem entre a espessura do olhal na região do furo e a abertura da manilha.

Em maior detalhe se espera a presença de 3 olhais na *spreader bar* representados nos recortes do desenho e ilustrados pela figura 22.

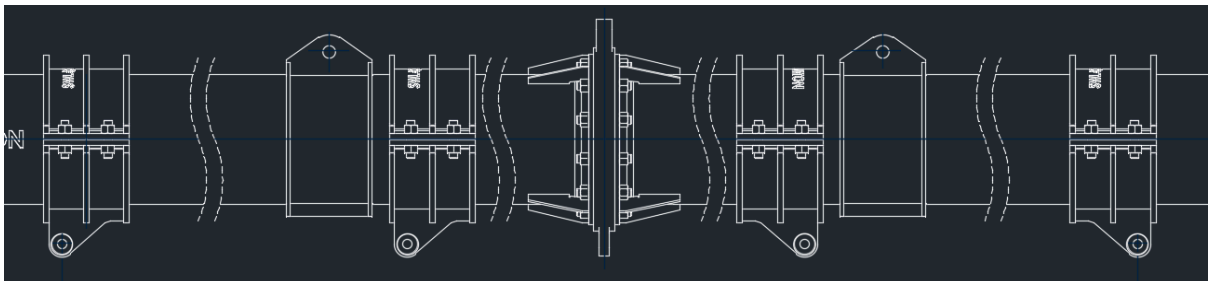


Figura 22 - Detalhe conjunto de Olhais Spreader Bar
Fonte: Autor, 2022

Uma visão mais isométrica dos olhais é apresentada pela Figura 23.

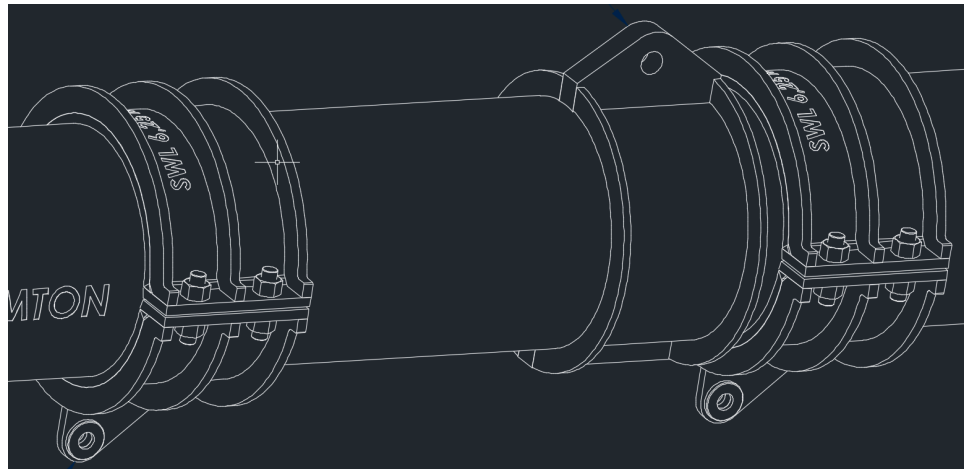


Figura 23 - Visão Isométrica Olhais
Fonte: Autor, 2022

Os olhais do flange central não serão calculados no presente trabalho, pois o mesmo existe unicamente para fins de transporte e armazenamento da *spread bar*. Na figura 24 ilustra o olhal do flange

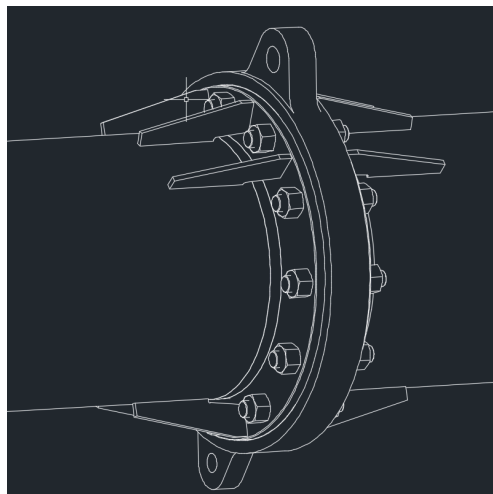


Figura 24 - Olhais flange
Fonte: Autor, 2022

4.4.2 Aplicações dos Olhais

Os olhais de içamento devem ser posicionados de forma a evitar interferência entre as lingas e a estrutura ou os equipamentos, e de forma que a força da linga atue no mesmo plano que a chapa principal do olhal. Para tanto, o projeto deve prever a possibilidade de modificação do ângulo de alinhamento do plano principal

do olhal, permitindo o seu posicionamento e a sua fixação após a determinação do centro de gravidade da estrutura

4.5 Estrutura principal

4.5.1 Aspectos Gerais da Estrutura Principal

Para a spreader bar foi considerado um perfil laminado de seção transversal circular contendo 609,60 mm de diâmetro externo e espessura de parede de 19,1mm. O motivo da escolha desse perfil, está na sua principal vantagem, que é o fato de ter o momento de inércia igual nas direções x e y. Isso significa que a *spreader bar* estará apta a receber esforços em qualquer direção, sem que deforme na direção de menor inércia. Outro fator levado em consideração na escolha foi a facilidade de encontrar esse tipo de perfil no mercado nacional de fabricação de estruturas de aço. Na Figura 25, é representada a visão isométrica da barra e detalhes do flange (número 3) e os olhais (número 2) que irão içar a sua estrutura.

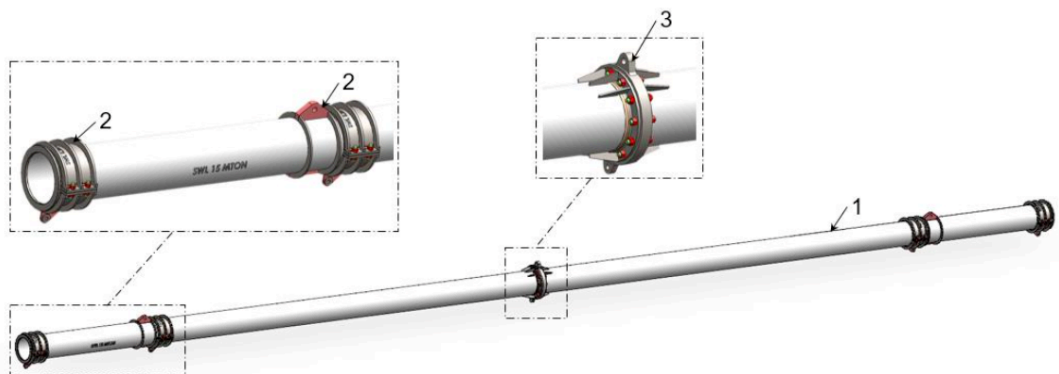


Figura 25 - *Spreader Bar* isométrica
Fonte: Autor, 2022

Importante retificar que o flange não está sendo considerado dentro dos cálculos de esforços relacionados ao tubo principal. Dessa forma, os cálculos irão considerar que a barra é uniforme e conjunta, uma vez que o flange foi projeto apenas para fins de transporte da barra e armazenamento dela. Na Figura 26 é possível verificar o seu detalhe.

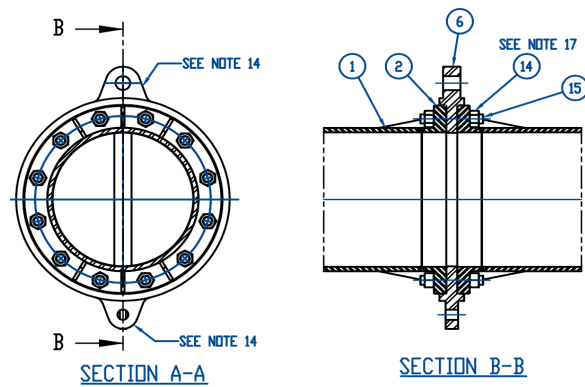


Figura 26 - Detalhe Flange
 Fonte: Autor, 2022

4.6 Suporte JUMPER

4.6.1 Aspectos Gerais

O jumper será anexado à estrutura da Spreader Bar por meio de um conjunto formado por *ROV Eye Shank Hook* (objeto 11 do desenho especificado no Apêndice C), *endless polyester round sling* de 2m (objeto 12 do desenho especificado no Apêndice C) e *Crosby 2" G-2130 Bolt Type Anchor Shackle* (objeto 10 no desenho). A Figura 27 ilustra todo o conjunto:

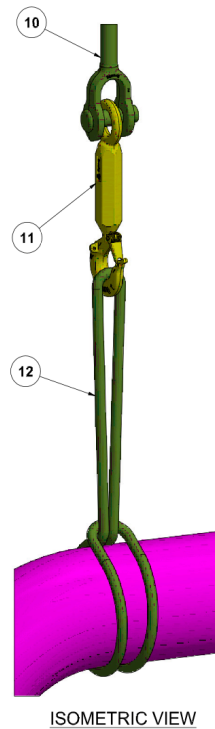


Figura 27 - Corte Isométrico Manilha de conexão com Jumper
Fonte: Autor, 2022

O equipamento representado pelo número 11, está detalhado e ilustrado pela Figura 28:

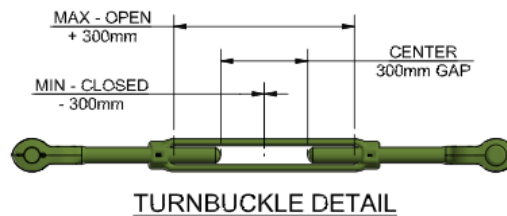


Figura 28 - Turnblock Detail
Fonte: Autor, 2022

Além do *turnblock* do conjunto, a Figura 29 também ilustra no detalhe a manilha utilizada no projeto:



Figura 29 - Foto Manilha
Fonte: Crosby, 2022

Maiores detalhes da disposição do conjunto de *Jumper* com *Spreader Bar* estão declarados no Apêndice C.

4.7 Premissas de projeto

4.7.1 Normas Utilizadas

Para o correto dimensionamento de uma estrutura de içamento são utilizados diretrizes de normas de projetos de algumas organizações internacionais que atendem a indústria de construção de aço estrutural por meio da certificação e padronização.

Ao longo dos anos estes órgãos reguladores adquiriram vasta experiência apoiando e melhorando a capacidade de inovação e aperfeiçoamento da indústria. Alguns desses órgãos tem uma longa tradição de serviço para a indústria, e desfrutam de uma relação de trabalho com profissionais e educadores que reconhecem seu profissionalismo na pesquisa e desenvolvimento de padrões.

Neste trabalho, foram utilizadas para o dimensionamento, as normas de projeto de alguns destes órgãos, como AISC (*American Institute of Steel*

Construction), DNV (*Det Norske Veritas*), Petrobras, API (*American Petroleum Institute*) e NBR (norma Brasileira).

Um dos processos mais importantes na fabricação de uma estrutura *off-shore* é a realização de testes de carga, que não são substitutos do processo de verificação e aprovação do projeto (etapas da certificação) mas servem como complementos do cálculo estrutural.

Para este projeto foi adotada a metodologia LRFD, em concordância com a NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010, a qual é uma especificação baseada na utilização bem-sucedida no passado, avanços no estado do conhecimento, e mudanças na prática do design. O Instituto Americano de Construção em Aço (AISC) fornece um tratamento integrado de admissíveis desenhos de resistência (ASD) e desenho de carga e fator de resistência (LRFD), e substitui os anteriores.

4.7.2 Materiais e Propriedades Mecânicas

A seleção do material para uso estrutural na indústria offshore leva em consideração não só as propriedades mecânicas necessárias para aplicação da estrutura, como também os fatores que influenciam nas propriedades do material, custo e peso. Os aços estruturais podem ser categorizados em três grandes grupos, Tabela 1, de acordo com a especificação da tensão de escoamento mínima.

Tabela 1 - Classificação dos aços estruturais

| Item | Tipo | Limite de Escoamento mínimo | Unidade |
|------|--|-----------------------------|---------|
| 1 | Aço carbono de média resistência | 195 a 259 | MPa |
| 2 | Aço carbono de alta resistência e baixa liga | 290 a 345 | MPa |
| 3 | Aço ligados tratados termicamente | 630 a 700 | MPa |

Fonte: CBCA, 2014

Normalmente, para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamentos, utiliza-se os aços estruturais de média e alta resistência mecânica. O termo designativo aços estruturais dá-se devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades.

Os materiais que foram considerados no projeto do *Spreader Bar* estão descritos nas Tabela 2. Estes materiais foram selecionados devido as qualidades mecânicas mínimas necessárias para atender ao projeto e a disponibilidade no mercado nacional.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas dos materiais

| Item | Material | Min. YS | σ_u [MPa] | E [Gpa] | ν |
|------|-----------------|---------|------------------|---------|-------|
| 1 | API 5L x60 | 415 | 360.9 | 205 | 0,3 |
| 2 | ASTM A320 GR L7 | 690 | - | 205 | 0,3 |
| 10 | ASTM A194 GR 2H | 690 | - | 205 | 0,3 |

Fonte: CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2012

As principais características dos aços estruturais são: alta tensão de escoamento, alta tenacidade, homogeneidade microestrutural, soldabilidade, capacidade de corte por chama sem endurecimento e alta trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem o surgimento de fissuras ou outros defeitos, ANSI 360-16.

Hoje em dia o aço estrutural mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, o qual é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. No entanto, a tendência de utilizar estruturas cada vez mais complexas e maiores tem originado a necessidade de se utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga ou microligados, com o objetivo de se obter estruturas mais resistentes e mais leves. Os aços ASTM A-572 Grau 50 (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica) e o ASTM A-588 Grau K (um aço-carbono microligado de alta resistência mecânica com elevada resistência à corrosão atmosférica), são exemplos comerciais destes aços.

Os aços microligados são especificados pela sua resistência mecânica, e não pela sua composição química. São desenvolvidos a partir dos aços de baixo carbono (como o ASTM A-36), com pequenas adições de Mn (até 2%) e outros elementos em níveis muito pequenos. Esses aços apresentam maior resistência mecânica que os aços de baixo carbono idênticos, mantendo a ductilidade e a soldabilidade, e são destinados às estruturas onde a soldagem é um requisito importante (Carbono baixo), assim como a resistência. De modo geral, esses aços proporcionam uma grande economia de aço na estrutura, a um custo muito reduzido.

A seguir são relacionados pontos positivos da utilização dos aços de alta resistência e baixa liga:

- A adoção de seções mais leves, que se torna possível devido ao aumento da resistência mecânica;
- uma melhor resistência à corrosão atmosférica;
- uma melhor resistência ao choque e o limite de fadiga;
- o aumento da relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

Na Tabela 3 é possível verificar as propriedades físicas do tubo que forma a *Spreader Bar* que irão servir de base para os cálculos de

Tabela 3 - Propriedades do Tubo

| Item | Propriedade | Símbolo | Valor |
|------|---------------------------|---------|--------------------------|
| 1 | Comprimento | L_f | 30308 mm |
| 2 | Diâmetro Externo | d | 609,6 mm |
| 3 | Raio Externo | r | 305,3 mm |
| 4 | Espessura de Parede | t | 19,1 mm |
| 7 | Área de Seção Transversal | r_x | 292821,6 mm ² |

Fonte: Autor, 2022

4.8 Dados do projeto

Os dados e equações para os cálculos que devem ser considerados para a execução do projeto serão apresentados a seguir.

4.8.1 Geometria

De acordo com a NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010 na análise linear a geometria básica auxilia na definição dos cálculos necessários para a estrutura metálica de tração, compressão, resistência à flexão, resistência ao cortante e interações. A geometria final do conjunto *Spreader Bar* e *Jumper* esta detalhada e forma ilustrativa na Figura 30.

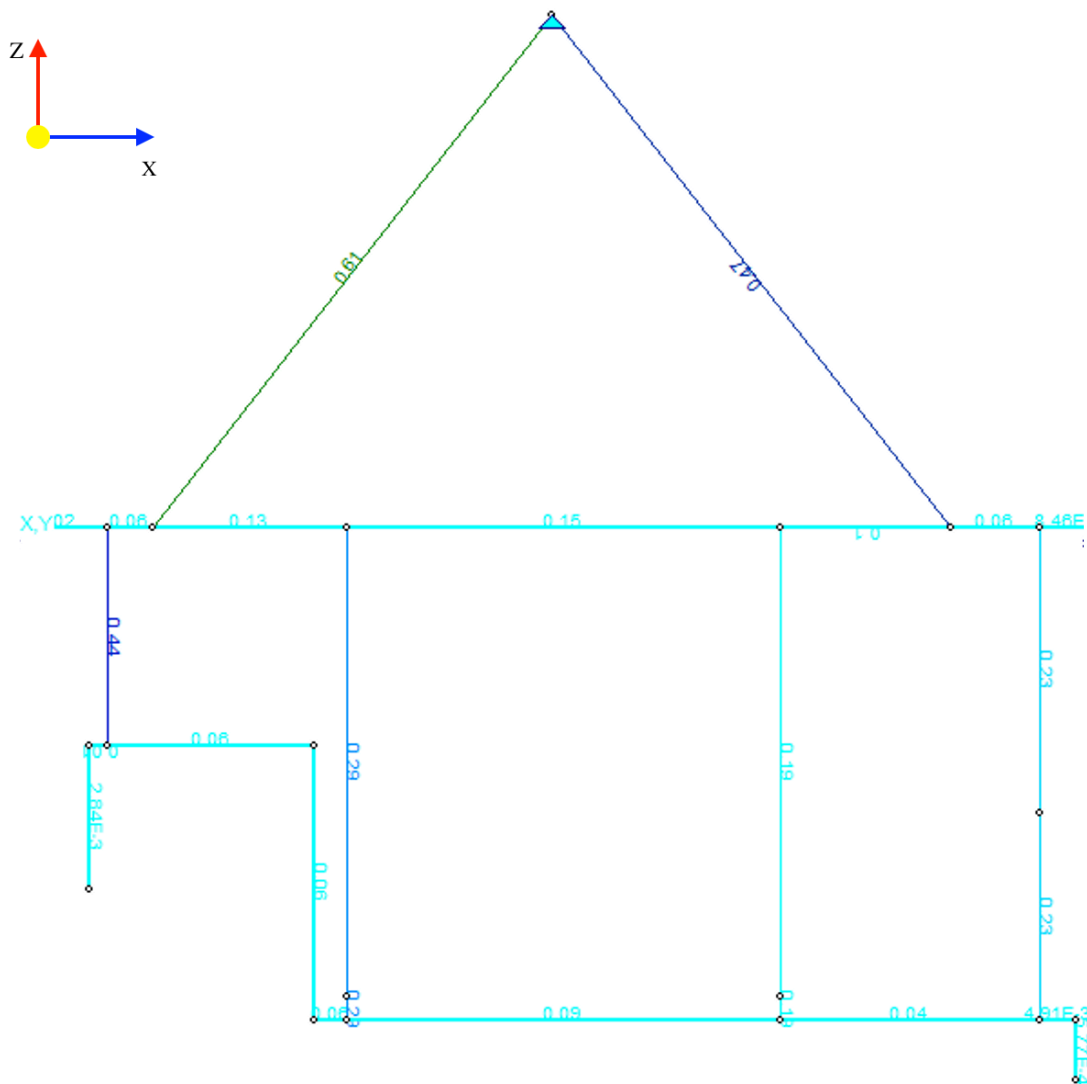


Figura 30- Geometria Spreader Bar e Jumper
 Fonte: Autor, 2022

De forma conservativa foi considerado para critério de cálculo da estrutura a conexão em 4 pontos diferentes da *spreader bar*.

4.8.2 Características de Carregamento

O *jumper* será içada por dois pontos ligados, sendo o seu peso, neste caso, repartido entre duas lingadas que serão conectadas ao gancho do guindaste. Na Figura 31 é ilustrado um diagrama de corpo livre para representar as distribuições de força no sistema.

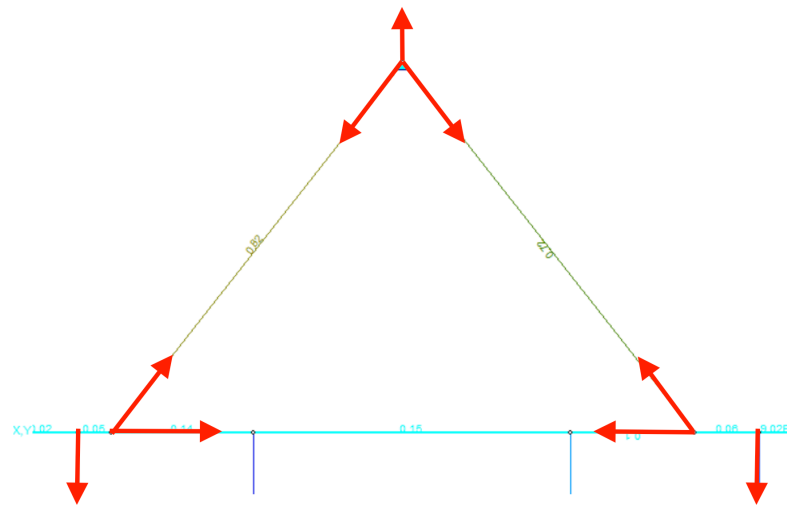


Figura 31 - Diagrama de Corpo Livre com as forças principais atuantes.

4.9 Cálculo analítico

A partir da definição da metodologia, as premissas, características de carregamento, dados de projeto já é possível dar início aos cálculos detalhados de limites de uso e validação dos materiais propostos para construção da *spreader bar*.

4.9.1 Área líquida

Em regiões com furos, feitos para ligação ou para quaisquer outras finalidades, a área líquida A_n de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, em regiões em que não existam furos, como o caso da *Spreader bar*, a área líquida A_n deve ser tomada igual à área bruta da seção transversal A_g .

4.9.2 Área líquida efetiva

A área líquida efetiva de uma barra A_e é dada pela equação 1:

$$A_e = C_t A_n \quad (1)$$

Onde:

A_n é a área líquida da barra;

C_t é o coeficiente de redução da área líquida;

4.9.3 Força axial resistente de cálculo

Conforme a NBR 8800:2008 a força axial de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ a ser usada no dimensionamento, exceto para barras redondas com extremidades rosquedas e barras ligadas por pinos, é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento de seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões:

Para escoamento da seção bruta é dada pela equação 2:

a)

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Para ruptura da seção líquida é dada pela equação 3:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Onde:

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

f_u é a resistência à ruptura do aço;

De acordo com a *Spreader bar* do presente estudo, foram encontrados os seguintes resultados organizados na Tabela 4:

Tabela 4 – Resultado de Cálculos da Tração

| Item | Descrição | Fórmula | Valor |
|------|-------------------------------|--|-------------|
| 1 | Resistência de Escoamento | $N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} =$ | 11256,91 kN |
| 2 | Resistência à Ruptura | $N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} =$ | 9403,36 kN |
| 3 | Resistência à Tração | N_{tRd} | 9403,36 kN |
| 7 | Fator de Utilização de Tração | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} =$ | 0,00 |

O fator de utilização (UR) é a relação entre a carga de projeto requerida e a carga resistente, obtido nessa primeira verificação levando em consideração a seção transversal de um perfil circular laminado e o material primeiramente selecionados. No cálculo da tração foi possível encontrar o valor menor que 1 na relação do solicitado com o resistente, de modo a estar capacitado.

4.9.3.1 Flambagem Local e Global

A flambagem pode ser local, global, por flexo-torção ou todos os efeitos combinados. Desta forma, o dimensionamento irá ser considerado pelo menor valor da carga de flambagem obtido para os diferentes tipos de flambagem, e por curvas com ajustes experimentais que levam em conta tensões residuais e imperfeições iniciais. A AISC 360-16, apresenta as exigências e verificações necessárias para se obter a capacidade resistente da estrutura dimensionada neste projeto.

A norma AISC 360-16, classifica as seções para verificação da flambagem local. Um membro sujeito à compressão axial definido como não esbelto, não sofrerá flambagem local, antes de atingir a carga de plastificação. De uma forma geral, a maioria dos catálogos de fabricantes de perfis metálicos já apresentam produtos que atendem ao limite para que não haja flambagem local.

Se calcularmos os momentos de inércia para todos os eixos que passam pelo centro de gravidade de uma seção, notaremos que em relação a um destes eixos (eixo 1) o momento de inércia I_1 será máximo e que em relação a outro eixo (eixo 2, ortogonal a 1) o momento de inércia (I_2) será mínimo. Estes dois eixos, denominados eixos centrais de inércia. Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal é dada pela equação 4:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \quad (4)$$

Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia da seção transversal é dada pela equação 5:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (5)$$

Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z é dada pela equação 6:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G J \right] \quad (6)$$

Para flambagem elástica por flexo-torção é dada pela equação 7:

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 [1 - (y_o / r_o)^2]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} [1 - (y_o / r_o)^2]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right] \quad (7)$$

Onde:

$K_x L_x$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x ;

I_x é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo x;

$K_y L_y$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y;

I_y é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y;

$K_z L_z$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z;

E é o módulo de elasticidade do aço em uso;

C_w é a constante de empenamento da seção transversal;

N_{ey} é a Força axiais de flambagem elástica em relação ao eixo y;

N_{ez} é a Força axiais de flambagem elástica em relação ao eixo z;

G é o módulo de elasticidade transversal do aço;

J é a constante de torção transversal;

r_o é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento, é dada pela equação 8:

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)} \quad (8)$$

Onde o r_x e r_y são raios de giração em relação aos eixos centrais x e y, respectivamente e x_o e y_o são as coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos centrais x e y, respectivamente, em relação ao centro geométrico da seção NBR 8800:2008.

Após definição de N_e é possível definição do índice de Esbeltez reduzido o qual é dado pela equação 9:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (9)$$

Os cálculos realizados para o dimensionamento do tubo principal encontram-se no APÊNDICE A deste trabalho, mas todos os resultados dos cálculos de compressão, são resumidos e organizados na tabela 5:

Tabela 5 – Resultados do Cálculo da Compressão

| Item | Descrição | Fórmula | Valor |
|------|-----------|---------|-------|
|------|-----------|---------|-------|

| | | | |
|----|--|---|------------------------|
| 1 | Flambagem por flexão em relação ao eixo Y | $N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} =$ | 17908,27 kN |
| 2 | Flambagem por flexão em relação ao eixo Z | $N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} =$ | 17908,27 kN |
| 3 | Flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal z | $N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] =$ | 2297494,46 kN |
| 4 | Flambagem elástica por flexo-torção | $N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] =$ | 17908,27 kN |
| 5 | Índice de Esbeltez | $\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} =$ | 0,2 |
| 6 | Área efetiva devido à flambagem global | $A_{ef}^{FG} =$ | 298,38 cm ² |
| 7 | Resistência à compressão devido à flambagem global | $N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20}$ | 9403,36 |
| 8 | Área efetiva devido à flambagem local | $A_{ef}^{FL} =$ | 9403,36 |
| 9 | Resistência à compressão devido à flambagem local | $N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} =$ | 9403,36 |
| 10 | Força normal resistente de cálculo à compressão | $N_{cRd} =$ | 2065,44 kN |
| 11 | Fator de Utilização de Compressão | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} =$ | 0,00 |

Como seria de se esperar, analisando a variação do coeficiente redutor em função da esbeltez reduzida, quanto maior for a esbeltez reduzida, menor será o coeficiente χ e maior a redução correspondente em N_{Rd} . Complementando essa análise expedita, como o valor de λ_o é inversamente proporcional a N_e , quanto menor for a carga de flambagem, maior a redução em N_{Rd} .

Conforme mencionado no tópico anterior o fator de Utilização (UR) representa a relação entre carga de projeto requerido e a carga resistente, e os resultados confirmam o respeito dos limites, não tendo risco, por estar à baixo de 1.

4.9.3.2 Resistência à Flexão

Um membro submetido à cargas compressivas pode se tornar instável, dentre outras formas, por flambagem global por flexão. Esse tipo de flambagem acontece quando o membro sofre flexão devido à compressão axial.

A resistência dos membros sujeitos à compressão é caracterizada pela carga axial máxima que eles suportam sem deslocamento lateral excessivo. A carga crítica para um membro ideal é chamada de carga de flambagem de Euler, e pode ser escrita em termos de tensão.

Os membros submetidos à compressão encontrados nas estruturas usuais não apresentam uma resistência tão elevada quanto a expressão da carga de Euler prevê, dessa forma, para pilares curtos ou intermediários, a hipótese de comportamento no regime elástico não é mais válida. O estudo que aborda as curvas de flambagem segundo a norma AISC 360-16 com metodologia LRFD, considera que a flambagem elástica de Euler governa a resistência de pilares com altos índices de esbeltez, o escoamento governa a resistência de pilares com baixos índices de esbeltez e entre as regiões elástica e plástica, a flambagem inelástica governa a resistência dos membros com índices de esbeltez intermediários.

Para seções tubulares circulares, para o estado-limite de flambagem local da parede do tubo o único aplicável, com D/t não superior a 0,45, é dada pela equação 10,11 e 12:

$$M_{Rd} = \frac{M_{p\ell}}{\gamma_{al}}, \text{ para } \lambda \leq \lambda_p \quad (10)$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \left(\frac{0,021E}{D/t} + f_y \right) W, \text{ para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad (11)$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{al}} \frac{0,33 E}{D/t} W, \text{ para } \lambda > \lambda_r \quad (12)$$

Com:

$$\lambda = \frac{D}{t}$$

$$\lambda_p = \frac{0,07 E}{f_y}$$

$$\lambda_r = \frac{0,31 E}{f_y}$$

Os cálculos realizados para o dimensionamento de resistência à flexão encontram-se no APÊNDICE A deste trabalho, mas todos os resultados dos cálculos de resistência à flexão, são resumidos e organizados na tabela 6:

Tabela 6 – Resultados do Cálculo da Flexão

| Item | Descrição | Fórmula | Valor |
|------|---|---|------------------|
| 1 | Parâmetro Esbeltez | $\lambda = \frac{d}{t_w} =$ | 38,1 |
| 2 | Parâmetro Esbeltez correspondente à plastificação | $\lambda_p = \frac{0,07 \cdot E}{f_y} =$ | 33,73 |
| 3 | Parâmetro Esbeltez correspondente ao início do escoamento | $\lambda_r = \frac{0,31 \cdot E}{f_y} =$ | 149,40 |
| 4 | Momento fletor resistente característico para estado limite FLM | $M_{Rk} = \left[\frac{0,021 \cdot E}{\lambda} + f_y \right] \cdot W =$ | 232738,23 kN.cm |
| 5 | Resistência de cálculo à flexão para o início de escoamento | $M_{Rdx}^{PL} = \frac{M_{Rk}}{1,10} =$ | 2111580,21 kN.cm |
| 6 | Fator de Utilização de Flexão | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} =$ | 0,14 |

É possível verificar que o parâmetro de Esbeltez encontrado é menor que parâmetro limite de 216,87 passando no limite. Como o parâmetro de Esbeltez se encontra entre o de plastificação e início de escoamento, foi utilizada a fórmula, de momento fletor mencionada na tabela, para cálculo do momento fletor resistente característico para estado limite FLM. Novamente o fator de segurança foi menor que 1, não passando pelo limite de utilização e garantindo o seu uso.

4.9.3.3 Força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento

A força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento é dada pela equação 13:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (13)$$

Os cálculos realizados para o dimensionamento de resistência à força cortante encontram-se no APÊNDICE A deste trabalho, mas todos os resultados do cálculos de resistência à flexão, são resumidos e organizados na tabela 7:

| Tabela 7 – Resultados do Cálculo de Resistência ao cortante | | | |
|---|--|--|------------|
| Item | Descrição | Fórmula | Valor |
| 1 | Força Cortante | $V_{pl} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_y}{2} =$ | 3714,78 kN |
| 2 | Força cortante resistente | $V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{1,1} =$ | 3377,07 kN |
| 3 | Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y | $V_{Rdy} =$ | 3377,07 kN |
| 4 | Fator de Utilização de resistência ao cortante ao eixo Y | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} =$ | 0,00 |
| 5 | Fator de Utilização de resistência ao cortante ao eixo Z | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} =$ | 0,01 |

Conforme mencionado no tópico anterior o fator de Utilização (UR) representa a relação entre carga de projeto requerido e a carga resistente, e os resultados confirmam o respeito dos limites, não tendo risco, por estar à baixo de 1, tanto para o eixo Y quanto para o eixo Z.

4.9.3.4 Deslocamento vertical

Segundo BEER, F.P. e JOHNSTON , Deformação é a mudança na forma e tamanho de um corpo quando uma força é aplicada no mesmo, de modo que dentro do conjunto de corpos do presente trabalho foi possível através do programa MCalc3D, o qual a partir dos inputs de informação dos elementos é possível chegar a conclusões relacionadas à estimativa de deformação. Após os esforços calculados e materiais selecionados, foi estimada um deslocamento vertical nos nós 6 e 7 igual a 70mm e ilustrada por meio da Figura 32.

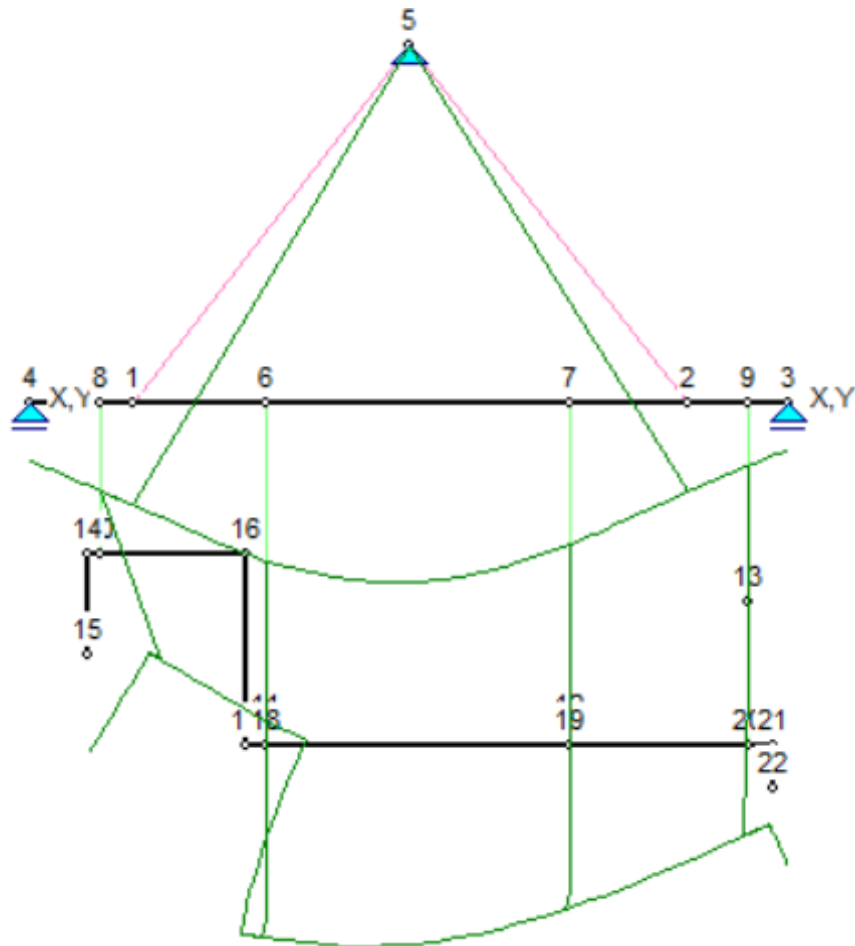


Figura 32 - Detalhe formação conjunto
 Fonte: Autor, 2022

4.9.4 Cálculo dos Olhais

Para o cálculo dos olhais foi utilizado o programa SMath Studio e utilizada como base a norma Petrobras. N-2683 e NBR 14762:2010, para dimensionamento dos olhais. Esta norma, por meio de cálculos analíticos, verifica pontos específicos do olhal tais como tensão na região do furo, cisalhamento nas seções críticas e tensão de tração na área efetiva e tensão de tração na área bruta. Algumas considerações devem ser adotadas para a aplicação desta norma, tais como:

- Direção da força: O olhal de içamento deve ser projetado de maneira a minimizar o surgimento de cargas fora do plano da chapa do olhal e da manilha. Configurações que levem à falha com desvios moderados da força da lingada devem ser evitadas;
- O encaixe da manilha no olhal deve ocorrer sem interferência, inclusive deve ser verificado se há espaço para a inserção do cabo de içamento entre a manilha e o olhal;
- A manilha deve ser selecionada para uma carga de trabalho igual ou maior do que a força na lingada;

Desta forma, não se faz necessário realizar uma análise de elementos finitos, uma vez que a norma Petrobras. N-2683 e NBR 14762:2010, verifica os pontos necessários para o dimensionamento seguro dos olhais. A chapa principal do olhal e os anéis de reforço são do material ASTM A320 grau 2H. Os cálculos realizados para o dimensionamento dos olhais encontram-se no Anexo A deste trabalho. A estrutura do APÊNDICES B são apresentados a resistência, e os detalhes do carregamento aplicado, o que por fim permite a verificação das tensões nos olhais.

Retomando um pouco o conceito, os olhais são aqueles que são responsáveis por transmitir os esforços para a barra de içamento e por isso seu dimensionamento e cálculo deve ser realizado com bastante cuidado. Um dos pontos mais importantes, por exemplo, deve ser a distância do olhal para a linha neutra da barra, qual irá determinar o esforço de flexão transmitida para a mesma. Um ponto como esse é decisivo na validação do projeto como um todo.

A manilha deve ser selecionada para uma carga de trabalho igual ou maior do que a força na lingada. Segundo o catálogo da Crosby, foram utilizadas manilhas modelo G-2130 com capacidade de 35 toneladas (ref: 1019677) para os olhais superiores ilustrado pela figura 33:

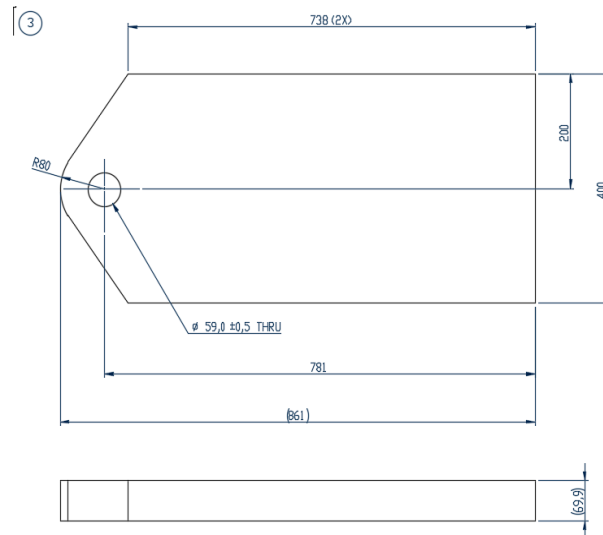


Figura 33 - Geometria Olhal Superior - 35 t
Fonte: Autor: 2022

E 17 toneladas (ref: 1019631) para os 4 olhais inferiores ilustrado pela Figura 34:

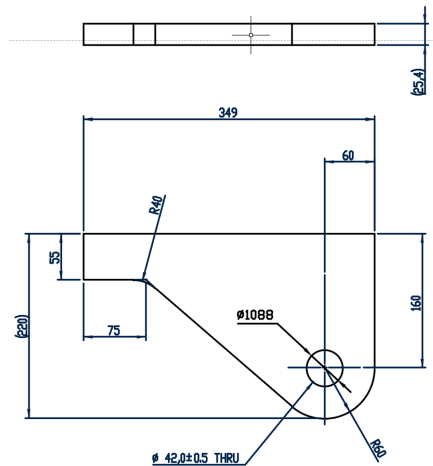


Figura 34 - Geometria Olhar inferior – 17 t
Fonte: Autor, 2022

Definidos os valores de f_{dc} , f_{cp} e f_{cg} , fator de desvio de carga, contingência de peso e incerteza no centro de gravidade de acordo com a norma 2683, respectivamente, as seguintes definições serão dos ângulos da linga com a horizontal, fator de consequência da falha do olhal e a distância do centro do furo até a base de apoio do olhal.

Inicialmente, é possível calcular a força na linga de acordo com a equação 14:

$$F = f_{dc} * f_{cp} * f_{cg} * FAD * F_{olhal} \quad (14)$$

Onde FAD é o fator de ampliação e F_{olhal} é a força de reação no olhal. Em seguida, deverá ser calculado o valor da força no pino é dada pela equação 15:

$$F = 1,3 F_{linga} \quad (15)$$

Os últimos dimensionamentos serão do diâmetro do furo, a espessura total do olhal (T) e o diâmetro interno do anel de reforço, que são dadas pelas equações 16, 17 e 18:

$$d_{furo} = d_{pino} + folga \quad (16)$$

$$T = \frac{F_{pino}}{0,9\sigma_y d_{pino}} \quad (17)$$

$$d_{anel} \leq 2(R - n - t_{anel}) \quad (18)$$

Após esses cálculos, irão ser iniciadas as verificações de atendimento às condições em que o olhal será submetido. A primeira verificação aplicada será do contato entre o pino e o furo. Esta tensão deverá ser menor ou igual a 90 % da tensão de escoamento que é dada pela equação 19:

$$f_p = \frac{F_{pino}}{d_{pino}(t_{olhal} + 2 t_{anel})} \leq 0,90\sigma_y \quad (19)$$

Já a tensão de cisalhamento na área efetiva deverá ser menor ou igual a 40 % da tensão de escoamento do material é dada pela equação 20:

$$f_v = \frac{F_{pino}}{2[(R - r_{furo})t_{olhal} + (r_{anel} - r_{furo})2 t_{anel}]} \leq 0,40\sigma_y \quad (20)$$

Em seguida serão analisadas a escoamento da seção bruta na região abaixo do anel de reforço e da tração na área líquida da região do furo é dada pela equação 21 e 22:

$$f_a = \frac{F_{pino}}{2b_1t_{olhal} + 4 b_2 t_{anel}} \leq 0,45\sigma_y \quad (21)$$

$$f_a = \frac{F_{pino}}{b_3 t_{olhal}} \leq 0,60\sigma_y \quad (22)$$

A verificação de arrancamento do conjunto do anel de reforço e da chapa principal do olhal engloba o raio do anel, espessura do olhal e os ângulos γ_1 e γ_2 , e podem ser representados de acordo com a figura 35 e equação 23.

$$F_{pino} \leq [2R + r_{anel}(\gamma_1 + \gamma_2)]t_{olhal} 0,6 \sigma_y \quad (23)$$

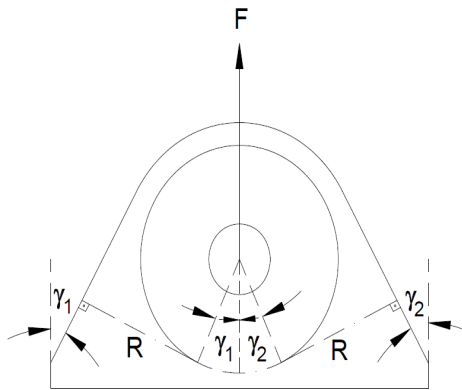


Figura 35 - Olhais de içamento

Fonte: Norma Petrobras – Estruturas Oceânicas – Olhal de Içamento – Dimensionamento, 2010.

Para a garganta da solda do anel de reforço, será utilizado o seguinte critério dado pela equação 24 e calculado de acordo com as equações 25 e 26:

$$\frac{F_{anel}}{\pi r_{anel} F_w} \leq g_{solda} \quad (24)$$

Onde;

$$F_{anel} = F_{pino} \frac{t_{anel}}{t_{olhal} + 2 t_{anel}} \quad (25)$$

e

$$F_w = 0,30 F_{wu} \text{ ou } 0,40 \sigma_y \sqrt{2} \quad (26)$$

o que for menor.

Sendo assim, serão finalizados os cálculos com o lado mínimo do filete da solda do anel de reforço é dado pela equação 26:

$$a_{solda} = \sqrt{2} g_{solda} \geq a_{min} \quad (27)$$

Para aplicação dessas equações, temos a disposição os seguintes parâmetros auxiliares;

$$b_1 = \text{menor valor entre } [(4T); (0,8 d_{furo})]$$

$b_2 = \text{menor valor entre } [(2R); (2b_1 + d_{furo} + d_{anel})], \text{ com anel de reforço}$

$b_3 = \text{menor valor entre } [(2R); (2b_1 + 2d_{furo})], \text{ sem anel de reforço}$

O cálculo completo se encontra no Apêndice B com as respectivas validações de limites. Estas dimensões são obtidas considerando uma análise dimensional de folgas e graus de liberdade, para atender a necessidade de montagem com os acessórios de içamento.

4.9.5 Cálculo de Manilha

Para o cálculo das manilhas foi utilizado o programa SMath Studio e utilizada como base a norma Petrobras. N-2683 e NBR 14762:2010, para dimensionamento. Esta norma, por meio de cálculos analíticos, verifica pontos específicos das manilhas tais como sua dimensão necessária e limite de peso aceito. Na Tabela 8 é possível encontrar mais detalhes da manilha utilizada e na Figura 36 a ilustração específica da manilha.

Tabela 8 - Detalhes Geometricos Manilha

| Item | Descrição | Valor (mm) | Representação |
|------|--------------------------------|------------|---------------|
| 1 | Max Largura Interna (Abertura) | 82,55 | A_{max} |
| 2 | Max diâmetro do Pino | 52,832 | $D_{pin.max}$ |
| 3 | Max Comprimento Interna | 196,85 | C_{max} |
| 4 | Max diâmetro do arco | 146,05 | E_{max} |
| 5 | Max diâmetro olhal | 122,174 | F_{max} |

Fonte: Crosby, 2022

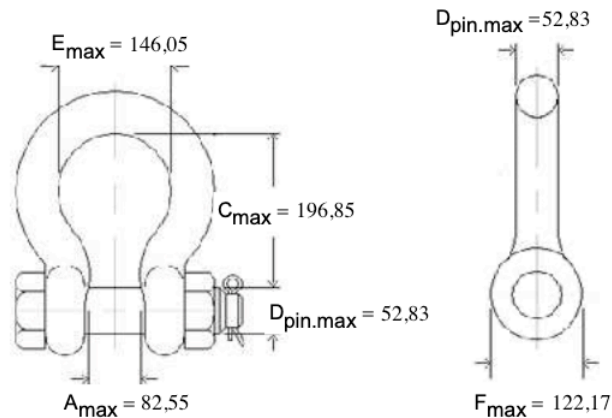


Figura 36 - Detalhe Manilha
Fonte: Autor, 2022

4.10 Consolidação dos Resultados

O fator de segurança atribuído à metodologia LFRD, tem o valor de 1,15. Segue abaixo a Tabela 9, com os resultados dos fatores de utilização para as avaliações de tração, compressão, resistência à flexão e resistência ao cortante reunindo a teoria apresentada.

De acordo com a metodologia em LFRD, as associações das cargas solicitadas e resistentes esclareceram o respeito e garantia da utilização dos equipamentos no arranjo sugerido e dimensionado estimado seja viável.

Tabela 9 – Consolidação de Fatores de Utilização

| Item | Descrição | Fórmula | Valor |
|------|--|--|-------|
| 1 | Fator de Utilização de Tração | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} =$ | 0,00 |
| 2 | Fator de Utilização de Compressão | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} =$ | 0,01 |
| 3 | Fator de Utilização de Flexão | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} =$ | 0,14 |
| 4 | Fator de Utilização de resistência ao cortante ao eixo Y | $\frac{SOLIC.}{RESIST.} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} =$ | 0,00 |

| | | | |
|---|---|---|------|
| 5 | Fator de Utilização de resistência ao cortante ao eixo Z | $\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} =$ | 0,01 |
| 6 | Fator de utilização da tensão do furo do Olhal A | $ratio_{bearing1} := \frac{\sigma_{bearing}}{\sigma_{bearing,adm}}$ | 0,39 |
| 7 | Fator de utilização da tensão do furo do Olhal b | $ratio_{bearing1} := \frac{\sigma_{bearing}}{\sigma_{bearing,adm}}$ | 0,16 |
| 7 | Fator de utilização de Cisalhamento do Olhal | $ratio_{tear1} := \frac{\sigma_{tear}}{\sigma_{tear,adm}}$ | 0,27 |
| 8 | Fator de utilização de Tensão de tração na área efetiva do Furo | $ratio_{pdy4} := \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{adm}}$ | 0,28 |
| 9 | Fator de utilização de tração na área bruta do Olhal | $ratio_{pdy5} := \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{adm}}$ | 0,12 |

O fator de utilização (UR) é a relação entre a carga de projeto requerida e a carga resistente, obtido nessa primeira verificação levando em consideração a seção transversal de um perfil circular laminado e o material primeiramente selecionados. O perfil adotado tem o fator de utilização menor que 1. Quando se igual a 1, o fator indica que o perfil escolhido tem a toda a capacidade da seção aproveitada, significando um risco para sua utilização visto a pequena margem. Quando é encontrado um valor acima de 1, indica que o perfil não tem capacidade de resistir, e da mesma forma quando abaixo, que indica que o perfil está sendo usado com sobra de capacidade resistente.

O desafio encontrado neste trabalho foi projetar um equipamento leve, de fácil operação, fabricação e montagem, e que suprisse todas as necessidades de içamento.

Foi possível concluir ao longo da elaboração do desenho da *spreader bar*, a relevância das atribuições de fabricação e montagem da estrutura completa, sendo detalhado os tipos de junções, cotagem dos furos, espessuras e quantidade de detalhes. Graças a esses detalhes foi possível a melhor avaliação dos esforços dos olhais e validação dos limites da barra principal.

Outra conclusão a partir do aprofundamento dos estudos das normas, foram os dos materiais utilizados para a fabricação da barra e dos olhais, para não unicamente a resistência e fabricação, assuntos relevantes, mas também resistência ao ambiente *off-shore* que representa um alto dinamismo de esforços.

Após essa seleção e estimativa de dimensionamento, puderam ser concluídos que a diferença dos esforços ao longo da barra é determinante na garantia geometria ótima estimada para a barra, sendo determinante que o material utilizado na fabricação seja o sugerido e que os limites de posicionamento dos olhais ao longo da barra sejam os declarados. Qualquer nova disposição dos olhais não mapeadas e estimada, pode acarretar flambagens indesejáveis e até a diminuição da vida útil da estrutura.

Especificamente nos cálculos de tração, compressão, resistência à flexão e resistência ao cortante foi possível confirmar a viabilidade do dimensionamento e dos materiais utilizados graças aos valores de fatores de utilização menores que 1 na relação do solicitado com o resistente. De modo a estar capacitado e corretamente dimensionado para sua utilização. O mesmo para todas as relações referentes ao olhal, a em nenhum dos testes de limite de uso versus o solicitado, todos resultaram em menos de 1, confirmando o modelo, posicionamento e dimensionamento realizado adequado para os esforços exigidos da carga içada e estrutura de içamento.

Assim, os estudos de caso apresentados na seção 4.10 permitem destacar alguns resultados como os olhais estão submetidos a tensões mais altas, uma vez que são os trechos curvos, de modo que eles irão governar os principais limites de cargas suportadas pela estrutura.

Há uma tendência de conforme ocorre o aumento das solicitações os trechos verticais intermediários aumentem e as restrições geométricas relativas ao posicionamento dos olhais seja menor. Além do aumento do diâmetro da seção principal da barra, e conseqüentemente da área da seção transversal e do peso, contribui para que seja necessário que os olhais superiores sejam maiores para suportar o peso suportado e tensões da sua base

Como, também, a variação dos parâmetros operacionais, concluiu-se que a geometria ótima da estrutura, quando comparada a estruturas menores e mais robustas, representa uma melhor distribuição dos esforços por toda a estrutura. Ou seja, a geometria encontrada pela rotina permite que os esforços induzidos na estrutura estejam entre a envoltória produzida pelas outras estruturas, reduzindo-se a massa da barra de içamento rígido de forma a não ultrapassar os limites impostos

pelas restrições adotadas ou mesmo aumentando o tamanho da mesma tal que as tensões calculadas respeitem os critérios adotados.

Por fim, como uma *spreader bar* no presente projeto, e geralmente, é estimada para içamento de grandes cargas com pesos elevados, podemos considerar como uma operação de risco, onde qualquer nova atribuição deve ser minuciosamente avaliada e estimada antes de qualquer execução. De modo que qualquer nova disposição dos olhais ao longo da barra é sugerida um novo cálculo de tração, compressão, resistência à flexão e resistência ao cortante com os novos valores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Críticas e comentários

O trabalho demonstrou, através de um estudo de caso, os procedimentos necessários para cálculo da uma *spreader bar* utilizada para içamentos em ambiente offshore. O tipo e a geometria do dispositivo de içamento estudado, uma *spreader bar* tubular de seção circular, foram adotados baseados na oferta do mercado nacional de fabricação de elementos estruturais, o que contribui para a facilidade da fabricação das peças.

A *spreader bar* não irá operar em ambientes no qual é necessária a utilização de um material de alta resistência a corrosão e de custo elevado, conforme foi apresentado anteriormente. Logo, como a aplicação desse tipo de liga especial está diretamente associada ao tipo de sistema onde irá operar, não foi necessário a adoção de liga de alta resistência à corrosão, porém o material selecionado foi um aço de alta resistência mecânica o que permite que a estrutura estudada seja mais resistente, leve e conseqüentemente mais econômica.

Foi visto que aplicando o carregamento inicial e os fatores de amplificação recomendados por norma a barra apresentou sobra de capacidade resistente, o que ficou evidenciado observando os fatores de utilização da estrutura. A geometria escolhida para a barra de içamento prezou a facilidade de fabricação, assim como as escolhas do material empregado. Para a definição das espessuras de chapas utilizadas foram escolhidos valores comerciais que atendiam as necessidades de carga.

Os resultados dos cálculos e das análises se mostraram satisfatórios em LFRD, garantindo a resistência necessária para o bom funcionamento e boa confiabilidade nos coeficientes de segurança, mas sem excessos ou desperdícios de materiais, tornando este projeto viável.

Como conclusão geral da redução analítica do caso da *Spreader Bar* para içamento de *Jumper*, por método LFRD, a mesma apresenta diversas aplicações e margem para diversos tipos de *jumpers* e baseado nos materiais utilizados e

equipamentos atribuídos a estrutura adequados para uso de acordo com os limites de peso (14 toneladas içadas) e fatores de segurança de acordo com a NBR 8800:2008.

5.2 Comentários para trabalhos futuros

Mediante resultados apresentados ficou evidenciado que os danos devidos aos eventos de esforço não resultaram em grandes impactos na estrutura e, portanto, não causaram problemas de fadiga da *spreader bar* e olhais.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, que a fadiga da *spreader bar* seja mais bem avaliada para eventos de curto prazo, explorando o fato da descoberta de novas tecnologias onde é possível coletar mais dados reais a fim de se caracterizar melhor a realidade. Outra sugestão de trabalhos futuros seria interessante que fosse executada uma análise estática apenas com o peso próprio, onde a *spreader bar* estaria submersa com elas condições da análise modal, porém, com as massas específicas modificadas, fatores de segurança revisados e forças readequadas para a consideração para o contexto submerso.

Como sugestão para trabalho futuros, ainda existe a margem da avaliação por outras configuração de içamento, como outro equipamento off-shore como uma bobina de linha flexível, um equipamento altamente utilizado na exploração de petróleo.

Outro tipo de abordagem saldável a ser realizada em um futuro trabalho é a avaliação por Elementos Finitos, para identificação com maior certeza dos pontos de deformação e maior tensão aplicada. Se recomenda que a avaliação computacional seja viabilizada através do sistema Ansys ou similar, o qual está adequado e já pré-condicionado para as normas seguidas nesse presente trabalho, principalmente o tratamento das condições de contorno e ainda comparar os resultados com a solução obtida, bem como possibilitar a redução do tempo gasto em cada análise;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP – Associação Nacional de Petróleo – Boletim ANP DEZEMBRO DE 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/publicacoes/boletins-anp/producao/2019-12-boletim.pdf>> Acesso em: 10 Mai. 2020

ANP – Associação Nacional de Petróleo – Boletim ANP MARÇO DE 2020. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/publicacoes/boletins-anp/producao/2020-03-boletim.pdf>> Acesso em: 10 Mai. 2020

ABEAM – Associação Brasileira das empresas de apoio Marítimo. Boletim Março de 2017. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1729291>>. Acesso em 10 maio 2020.

BAY, Y., 2010, Subsea Structure Engineering Handbook. 1ª ed., Amsterdam, Editora EISEVIER

BEER, F.P. e JOHNSTON, JR., E.R. Resistência dos Materiais, 3.º Ed., Makron Books, 1995.

BELLEI, I.H.; PINHO, F.O.; PINHO, M.O. Edifícios de múltiplos andares em aço. 2.ed. São Paulo: PINI, 2008

OKUNO, Emico; FRATIN, Luciano. Desvendando a física do corpo humano: biomecânica. [S.l: s.n.], 2003.

SPARTA ENGINEERING. Why Do I Need a Spreader Bar? Sparta Engineering, Disponível em: <<https://www.spartaengineering.com/need-spreader-bar/>>. Acesso em: 29 set. 2019.

UNICAMP. Filosofias de projeto. Unicamp. Disponível em:<<http://www.fec.unicamp.br/~jls/EC-804-1s07/Introducao/FilosProj.pdf>>. Acesso em 15 maio 2022.

WORLD OIL, 2013. Sistemas de conexão Horizontal - Vertical, Disponível em: <<https://worldoil.com/>> Acesso em: 05 AGO. 2019

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. ANSI/AISC 360-16 - Specification for Structural Steel Buildings. Chicago. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A320 / A194, Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel. West Conshohocken. 2013.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME-BTH-1-2017: Design of Below-the-Hook Lifting Devices. New York. 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800** (edição 2008): Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios:. Rio de Janeiro, 2008. (ICS 91.080.10; 91.080.99)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681** (edição 2010): Ações e segurança nas estrutura - Procesimento. Rio de Janeiro, 2010. (ICS 91.080.40)

DNVGL - DET NORSKE VERITAS GERMANISCHER LLOYD. DNVGL- ST-E273 - 2.7-3 Portable offshore units. [S.I.]. 2016.

DNVGL - DET NORSKE VERITAS GERMANISCHER LLOYD. DNVGL-ST-N001- Marine Operations and Marine Warranty. [S.I.]. 2016.

LOYD'S REGISTER - *Code for Lifting Appliances in a Marine Environment*, 2016.

Petrobras N-2683, Estruturas Oceânicas: Olhal de Içamento, Brasil, 2010

APÊNDICE A - Memória de Cálculo

Conforme NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010

Perfil Tubo circular (Formado a frio)

Perfil: TUBO 609.6 x 16
Aço: Definido Pelo U $f_y = 415 \text{ MPa}$ $f_u = 520 \text{ MPa}$

COMPRIMENTOS DA BARRA

$K_x L_x = 1204 \text{ cm}$ $K_z L_z = 3030,79 \text{ cm}$
 $K_y L_y = 1204 \text{ cm}$ $L_b = 1204 \text{ cm}$

1. Cálculo da Tração

$C_T = 1,00$ Coeficiente de redução da área líquida

$$N_{tRd1} = \frac{A \cdot f_y}{1,10} = 11256,91 \text{ kN} \quad \text{Resistência de escoamento}$$

$$N_{tRd2} = \frac{C_T \cdot A_n \cdot f_u}{1,65} = 9403,36 \text{ kN} \quad \text{Resistência à ruptura}$$

$$N_{tRd} = 9403,36 \text{ kN} \quad \text{Resistência à tração}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

2. Cálculo da Compressão

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2} = 17908,27 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(K_z \cdot L_z)^2} = 2826,15 \text{ kN}$$

$$N_{et} = \frac{1}{r_o^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_t \cdot L_t)^2} + G \cdot J \right] = 2297494,46 \text{ kN}$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2}{r_o^2} = 1,00$$

$$N_{ext} = \frac{N_{ex} + N_{et}}{2 \cdot H} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{et} \cdot H}{(N_{ex} + N_{et})^2}} \right] = 17908,27 \text{ kN}$$

$$N_e = 2826,15 \text{ kN}$$

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_e}} = 2,09$$

$$\lambda_o > 1,5 \text{ então } \chi = \frac{0,877}{(\lambda_o)^2} = 0,20$$

a) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem global

$$A_{ef}^{FG} = 298,38 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem global}$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi \cdot A_{ef} \cdot f_y}{1,20} = 2065,44 \text{ kN} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem global}$$

b) Cálculo da resistência à compressão devido à flambagem local

$$A_{ef}^{FL} = 298,38 \text{ cm}^2 \quad \text{Área efetiva devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd}^{FL} = \frac{A_{ef}^{FL} \cdot f_y}{1,20} = 10318,83 \text{ kN} \quad \text{Resistência à compressão devido à flambagem local}$$

$$N_{cRd} = 2065,44 \text{ kN} \quad \text{Força normal resistente de cálculo à compressão}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} = 0,01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

3. Cálculo da Resistência à Flexão - eixo Y

3.1. Cálculo do momento resistente devido ao início do escoamento efetivo

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = 38,10$$

$$\lambda_{LIM} = 216,87$$

$$\lambda < \lambda_{LIM} \quad \text{OK!}$$

$$\lambda_p = \frac{0,07 \cdot E}{f_y} = 33,73$$

$$\lambda_r = \frac{0,31 \cdot E}{f_y} = 149,40$$

$$Z = \frac{d^3}{6} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{2 \cdot t_w}{d} \right)^3 \right] = 5639,14 \text{ cm}^3$$

$$W = 4431,12 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y = 234024,34 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad \text{então} \quad M_{Rk} = \left[\frac{0,021 \cdot E}{\lambda} + f_y \right] \cdot W =$$

$$M_{Rk} = 232738,23 \text{ kN.cm} \quad \text{Momento fletor resistente característico para o estado limite FLM}$$

$$M_{Rdx}^{PL} = \frac{M_{Rk}}{1,10} = 211580,21 \text{ kN.cm} \quad \text{Resistência de cálculo à flexão para o início do escoamento}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} = 0,14 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

4. Cálculo da Resistência ao cortante - eixo Y

$$V_{pl} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_y}{2} = 3714,78 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{1,1} = 3377,07 \text{ kN}$$

$V_{Rdy} = 3377,07 \text{ kN}$ Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Y

$V_{Rdz} = 3377,07 \text{ kN}$ Resistência ao esforço cortante em relação ao eixo Z

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{ySd}}{V_{yRd}} = 0,00 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{SOLIC.}}{\text{RESIST.}} = \frac{V_{zSd}}{V_{zRd}} = 0,01 < 1,00 \quad \text{OK!}$$

5. Equações de Interação

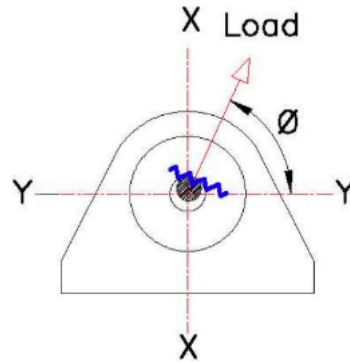
$$\frac{N_{cSd}}{N_{cRd}} + \frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} = 0,15$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} + \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,14$$

$$\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}} + \frac{M_{zSd}}{M_{zRd}} - \frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} = 0,14$$

APÊNDICE B - Memória de Cálculo Olhais

Bearing Check



$$\sigma_{bearing} := \text{if } \frac{D_{shackle, pin}}{D_H} < 0,96 \quad = 177,9 \text{ MPa} \quad \text{Bearing pressure, P.2.7}$$

$$0,18 \cdot \sqrt{\frac{F_{SD_sling} \cdot \left(\frac{1}{D_{shackle, pin}} - \frac{1}{D_H} \right) \cdot E \cdot \beta}{t}}$$

else

$$0,036 \cdot \sqrt{\frac{F_{SD_sling} \cdot E \cdot \beta}{D_H \cdot t}}$$

$$\sigma_{bearing, adm} := \frac{\sigma_y}{Y_m} = 460 \text{ MPa} \quad \text{Bearing admissible stress}$$

$$\text{check_}\sigma_{bearing1} := \text{if } \sigma_{bearing} < \frac{\sigma_y}{Y_m} = \text{"ok"} \quad \text{ratio}_{bearing1} := \frac{\sigma_{bearing}}{\sigma_{bearing, adm}} = 0,39$$

"ok"

else

"Not check"

$$\sigma_{bearing} := \frac{F_{SD_sling}}{D_{shackle, pin} \cdot (t_{pl} + t_{ch})} = 101,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bearing, adm} := 0,9 \cdot \sigma_y = 621,0 \text{ MPa}$$

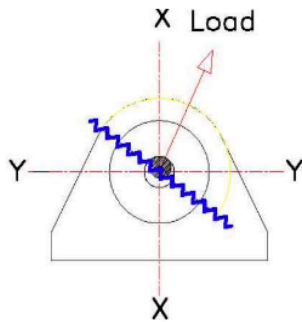
$$\text{check_}\sigma_{bearing2} := \text{if } \sigma_{bearing} < \sigma_{bearing, adm} = \text{"ok"}$$

"ok"

else

"NOT CHECK"

$$\text{ratio}_{bearing2} := \frac{\sigma_{bearing}}{\sigma_{bearing, adm}} = 0,16$$



Padeye parameters _ According standard Petrobras N2683-Petrobras

Effective length of main plate considered in resistance tension of the boundary hole(b1)

$b_1 = \text{smaller value among } [(4T); (0,8d_{\text{hole}}); (R - r_{\text{hole}})]$

($R - r_{\text{hole}}$ = real distance of border hole until the external border of padeye)

Effective length of reinforcement considered in resistance tension of the boundary hole(b2)

$b_2 = \text{smaller value between } [(r_{\text{brackets}} - r_{\text{hole}}); (b_1)]$

$$b_1 := \min \left(\left[4 \cdot t, 0,8 \cdot D_H \left(R_{pl} - \frac{D_H}{2} \right) \right] \right) = 33,60 \text{ mm}$$

$$b_2 := \min \left(\left[\left(R_{ch} - \frac{D_H}{2} \right) b_1 \right] \right) = 1,00 \text{ mm}$$

$$\sigma_{sd} := \frac{F_{SD_sling}}{2 \cdot b_1 \cdot t_{pl} + 4 \cdot b_2 \cdot t_{ch}} = 85,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} := 0,45 \cdot \sigma_y = 310,50 \text{ MPa}$$

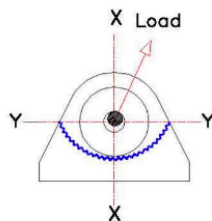
$$check_{pdy4} := \text{if } \sigma_{sd} < \sigma_{adm} \text{ = "ok"}$$

"ok"

else

"NOT CHECK"

$$ratio_{pdy4} := \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{adm}} = 0,28$$



Padeye parameter b3 _ According Petrobras Standard N-2683

**Thickness of main plate considered in the tension resistance calculation after the hole (b3)

With reinforcement plate - The smaller value between $[(2 \cdot R); (2 \cdot b_1 + d_{\text{hole}} + d_{\text{brackets}})]$

Without reinforcement plate - The smaller value between $[(2R); (2b_1 + 2d_{\text{hole}})]$

$$b_3 := \text{if } t_{ch} > 0 \text{ mm} \quad = 120,00 \text{ mm}$$

$$\min \left(\left[2 \cdot R_{pl}, 2 \cdot b_1 + D_H + 2 \cdot R_{ch} \right] \right)$$

else

$$\min \left(\left[2 \cdot R_{pl}, 2 \cdot b_1 + 2 \cdot D_H \right] \right)$$

$$\sigma_{sd} := \frac{F_{SD_sling}}{b_3 \cdot t_{pl}} = 48,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} := 0,6 \cdot \sigma_y = 414,00 \text{ MPa}$$

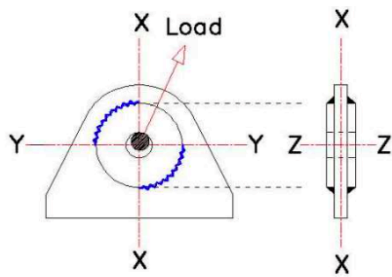
$$check_{pdy5} := \text{if } \sigma_{sd} < \sigma_{adm} \text{ = "ok"}$$

"ok"

else

"NOT CHECK"

$$ratio_{pdy5} := \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{adm}} = 0,12$$



$\delta := 1,3$ Cheek load factor, P.2.7.1

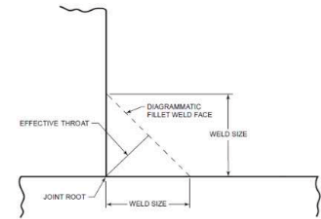
$a := 3 \text{ mm}$ Minimum effective throat, based on cheek thickness

$$\sigma_{Sd,cheek_weld} := \frac{F_{SD_sling} \cdot t_{ch}}{1,5 \cdot t \cdot 2 \cdot R_{ch} \cdot a} \cdot \delta = 65,7 \text{ MPa}$$

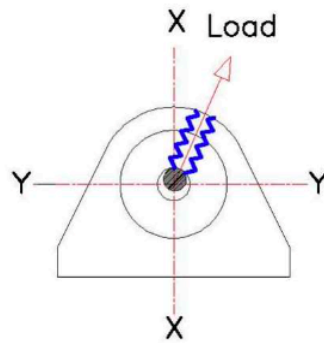
```

check_pdy6 := if  $\sigma_{Sd,cheek\_weld} < \frac{\sigma_y}{\gamma_m}$  = "ok"
              "ok"
              else
              "Not ok"

```



$$ratio_{pdy6} := \frac{\sigma_{Sd,cheek_weld}}{\frac{\sigma_y}{\gamma_m}} = 0,1428$$



$$\sigma_{tear} := \frac{1,7 \cdot F_{SD_sling}}{(2 \cdot R_{pad} - D_H) \cdot t} = 125,7136 \text{ MPa} \quad \text{Tear out stress, P.2.8}$$

$$\sigma_{tear,adm} := \frac{\sigma_y}{Y_m} = 460,00 \text{ MPa}$$

```

check_σ_tear1 := if σ_tear <  $\frac{\sigma_y}{Y_m}$  = "ok"
                "ok"
                else
                "Not check"

```

$$ratio_{tear1} := \frac{\sigma_{tear}}{\sigma_{tear,adm}} = 0,27$$

$$\sigma_{tear,adm} := 0,4 \cdot \sigma_y = 276,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tear} := \frac{F_{SD_sling}}{\left(\left(R_{ch} - \frac{D_H}{2} \right) \cdot 2 \cdot t_{ch} \right) + \left(\left(R_{pl} - \frac{D_H}{2} \right) \cdot t_{pl} \right)} = 147,90 \text{ MPa}$$

```

check_σ_tear2 := if σ_tear < σ_tear,adm = "ok"
                "ok"
                else
                "NOT CHECK"

```

$$ratio_{tear2} := \frac{\sigma_{tear}}{\sigma_{tear,adm}} = 0,54$$

APÊNDICE C - Memória de Cálculo Manilha

$$WLL := 17 \text{ tonnef} = 166,71 \text{ kN} \quad \text{Working load limit}$$

$$D_{shackle,pin} := 52,832 \text{ mm} \quad \text{Diameter of shackle pin}$$

$$e_{shackle} := 82,55 \text{ mm}$$

$$C_{shackle,pin} := 122,17 \text{ mm}$$

$$F_{SD,sling} = 15,00 \text{ tonnef}$$

$$F_{SSd} := \frac{F_{SD,sling}}{DAF} = 98,07 \text{ kN} \quad \text{Shackle static load, 16.5.2.5}$$

$$F_{SSd} = 10,00 \text{ tonnef}$$

$$WLL = 17,00 \text{ tonnef}$$

```
check_FSS := if FSSd < WLL      = "ACCEPTABLE VALUE"
              "ACCEPTABLE VALUE"
            else
              "NOT ACCEPTABLE VALUE"
```

$$F_{SD,max} = 11,77 \text{ tonnef} \quad \text{Maximum sling design load}$$

$$F_{LL} := F_{SD,max} \cdot 0,025 = 0,2943 \text{ tonnef} \quad \text{Lateral load, 16.9.3.1}$$

$$MBL_{shackle} := 6 \cdot WLL = 1000,28 \text{ kN} \quad \text{Shackle Minimum breaking load} \quad MBL_{shackle} = 102,00 \text{ tonnef}$$

$$F_{SD,shackle} := WLL \cdot DAF = 25,50 \text{ tonnef} \quad \text{Maximum shackle dynamic design load}$$

$$F_{SD,max} + F_{LL} = 12,07 \text{ tonnef} \quad \text{Maximum sling dynamic design load + lateral dynamic force}$$

```
check_FSD := if (FSD,max + FLL) < WLL * DAF = "ACCEPTABLE VALUE"
              "ACCEPTABLE VALUE"
            else
              "NOT ACCEPTABLE VALUE"
```

$$check_{FSD} = \text{"ACCEPTABLE VALUE"}$$

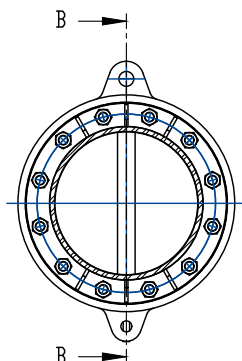
$$MBL = 55,78 \text{ tonnef} \quad \text{Minimum breaking load of sling}$$

$$F_{SD,max} + F_{LL} = 12,0669 \text{ tonnef} \quad \text{Maximum sling dynamic design load + lateral dynamic force}$$

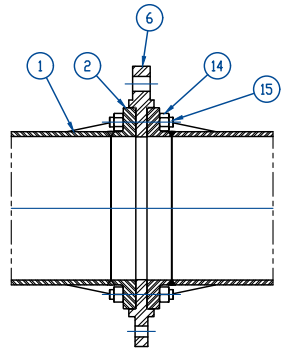
```
check_FSD := if (FSD,max + FLL) < MBL / 3 = "ACCEPTABLE VALUE"
              "ACCEPTABLE VALUE"
            else
              "NOT ACCEPTABLE VALUE"
```

$$check_{FSD} = \text{"ACCEPTABLE VALUE"}$$

APÊNDICE D - Desenho técnico *Spreader Bar*



SECTION A-A

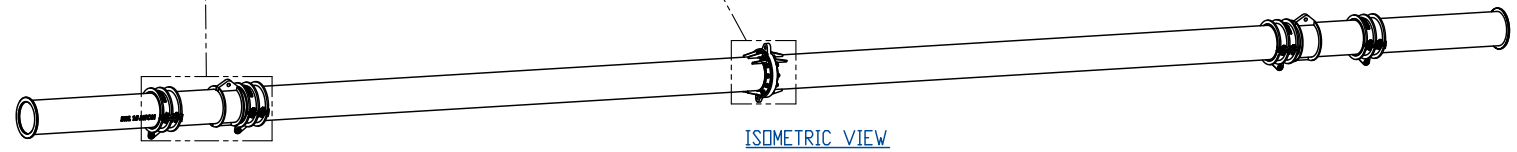
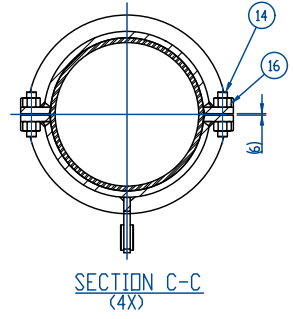
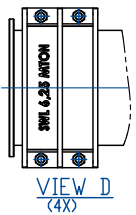
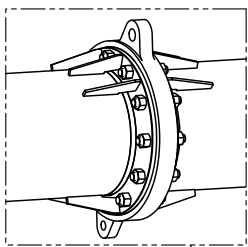
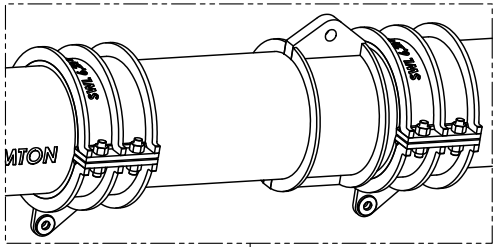
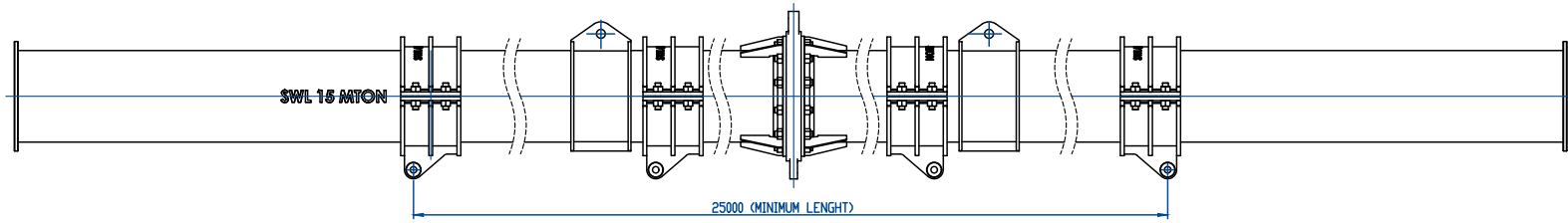
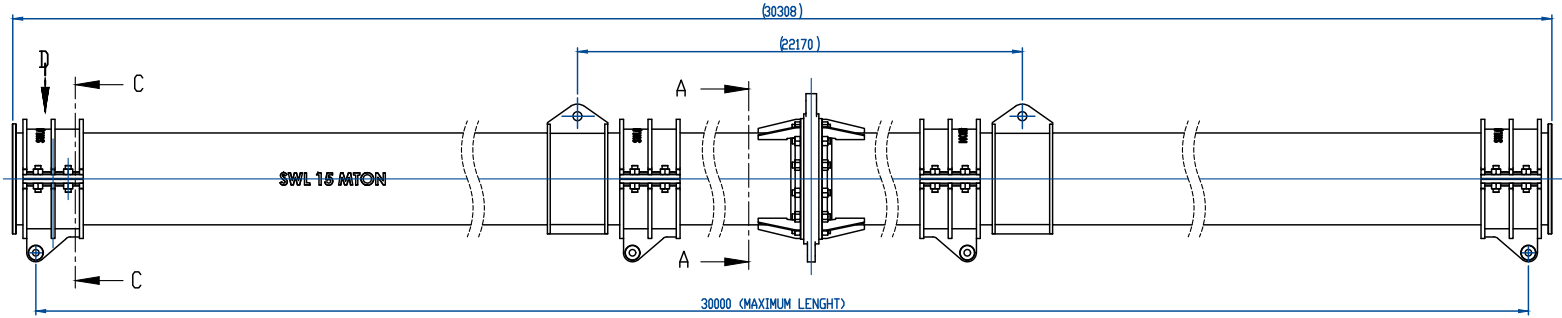


SECTION B-B

| ITENS | QNTD. | DESCRIÇÃO | ESPECIFICAÇÃO MATERIAL | DIMENÇÕES (MM) |
|-------|-------|---|------------------------|----------------|
| 1 | 2 | TUBO DD 24IN X WT 0,75IN | API 5L X60 | 15008 |
| 2 | 2 | PLATE THK 101,6MM | EN10025-2 S355JR | Ø800 |
| 3 | 2 | PLATE THK 69,9MM | EN10025-2 S355JR | 400 X 861 |
| 4 | 8 | PLATE THK 19,1MM | EN10025-2 S355JR | 330 X 726 |
| 5 | 12 | PLATE THK 12,7MM | EN10025-2 S355JR | 90 X 280 |
| 6 | 1 | PLATE THK 101,6MM | EN10025-2 S355JR | 862 X 1105 |
| 7 | 8 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | 400 X 975 |
| 8 | 16 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | 120 X 400 |
| 9 | 4 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | 220 X 350 |
| 10 | 20 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | 367 X 847 |
| 11 | 8 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | 367 X 423 |
| 12 | 8 | PLATE THK 12,7MM | EN10025-2 S355JR | Ø100 |
| 13 | 2 | PLATE THK 25,4MM | EN10025-2 S355JR | Ø730 |
| 14 | 56 | HEAVY HEX NUT 1-1/2" - 8UN 2B IN ACCORDING | ASTM A194 GR 2H | - |
| 15 | 12 | STUB BOLT 1-1/2" - 8UN 2A X 250MM LONG FULL | ASTM A320 GR L7 | - |
| 16 | 16 | STUB BOLT 1-1/2" - 8UN 2A X 180MM LONG FULL | ASTM A320 GR L7 | - |

| REFERÊNCIAS DO DOCUMENTO | |
|--------------------------|--|
| (1) | PRODUCTION JUMPER LIFT RIGGING. |
| (2) | JUMPER SPREADER BAR - STRUCTURAL REPORT. |

| NOTAS GERAIS | |
|--------------|--------------------------------|
| 0 | DESENHO DE PROJETO FINAL |
| REV. | DESCRIPTION |
| PROGRAM | TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO |
| AREA | CEFET - RJ / MARACANG |
| TITLE | JUMPER SPREADER BAR DRAWING |

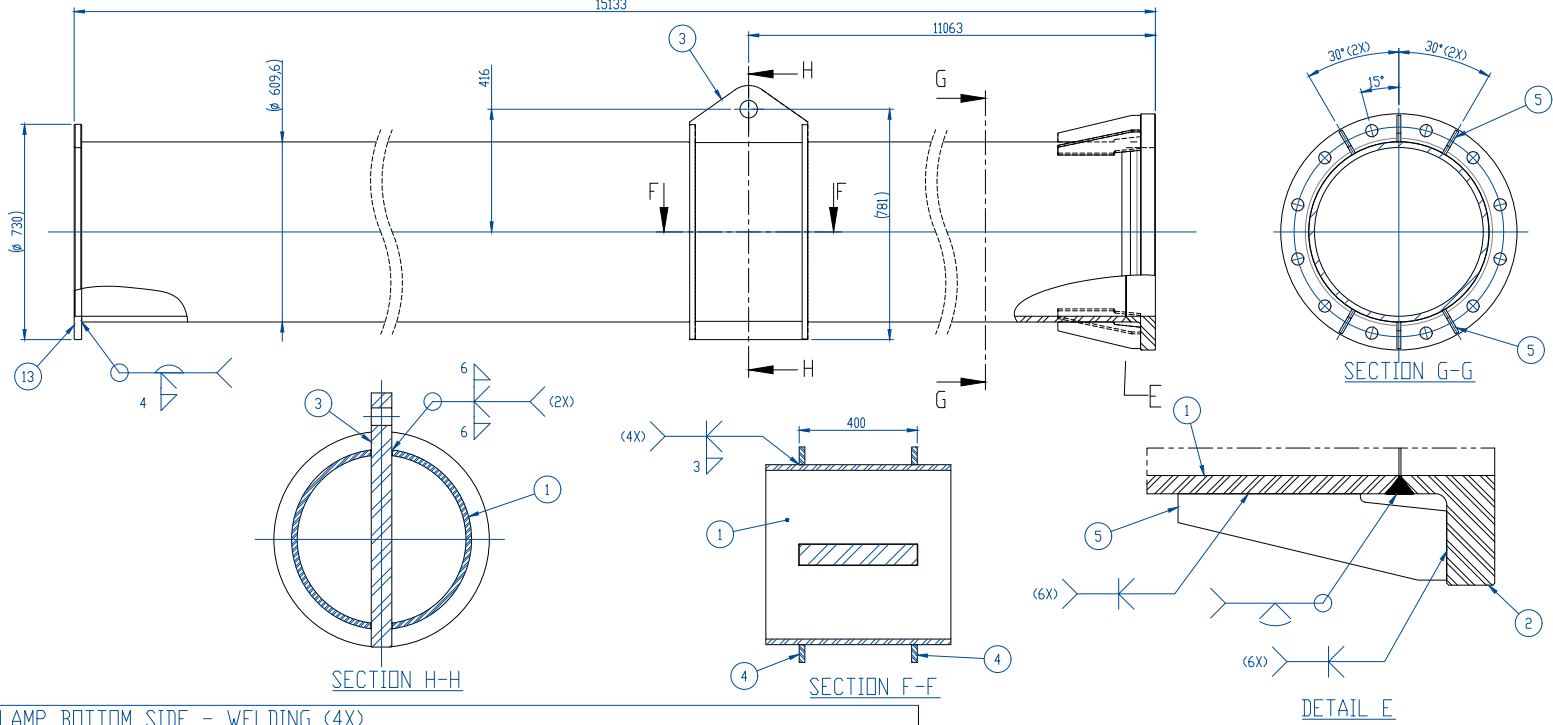


ISOMETRIC VIEW

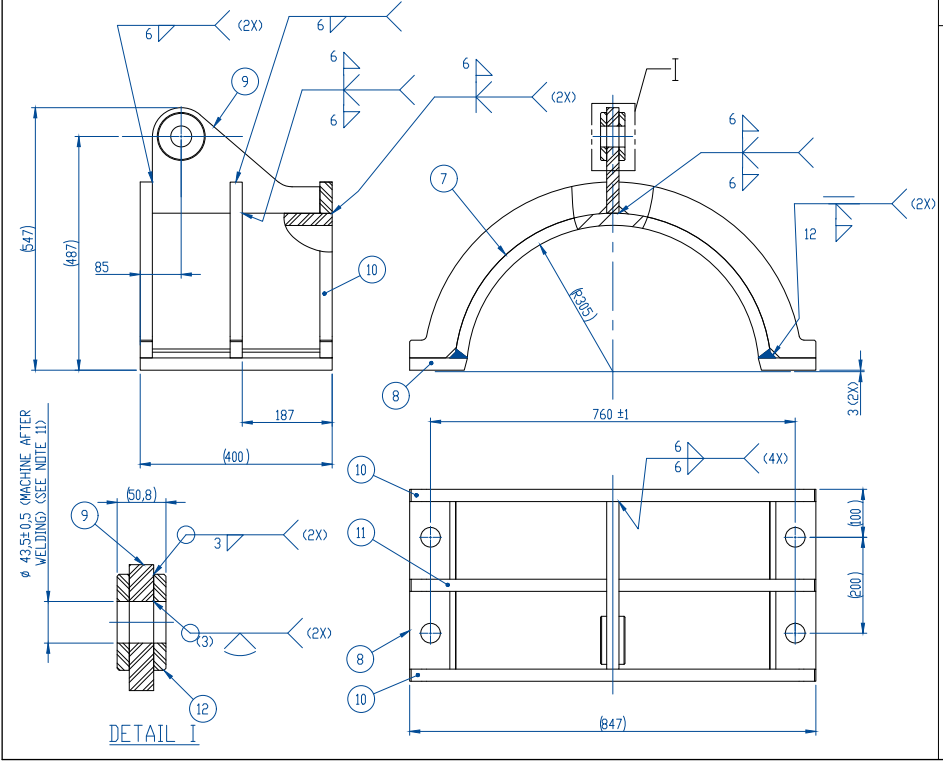
DATE

SPREADER BAR PIPE HALF SECTION- WELDING - (2X)

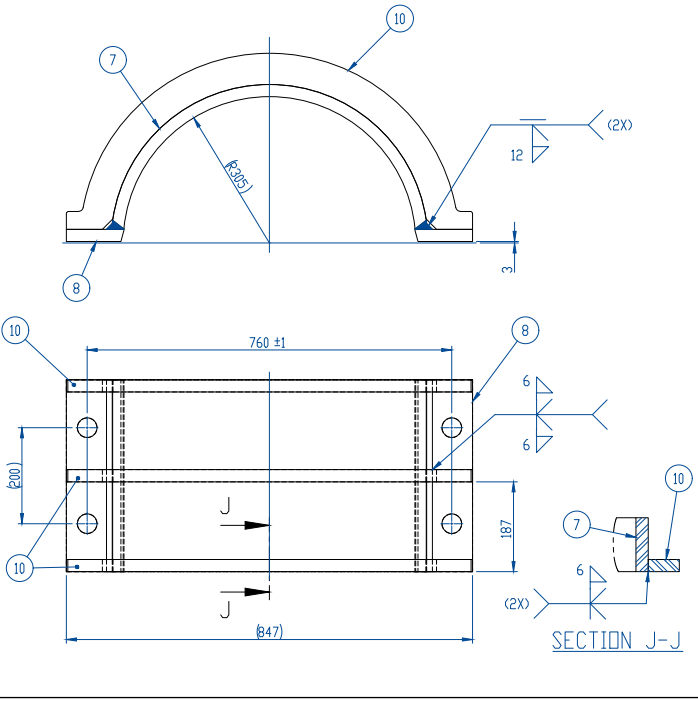
15133



CLAMP BOTTOM SIDE - WELDING (4X)



CLAMP TOP SIDE - WELDING (4X)



REFERENCE DOCUMENTS

GENERAL NOTES

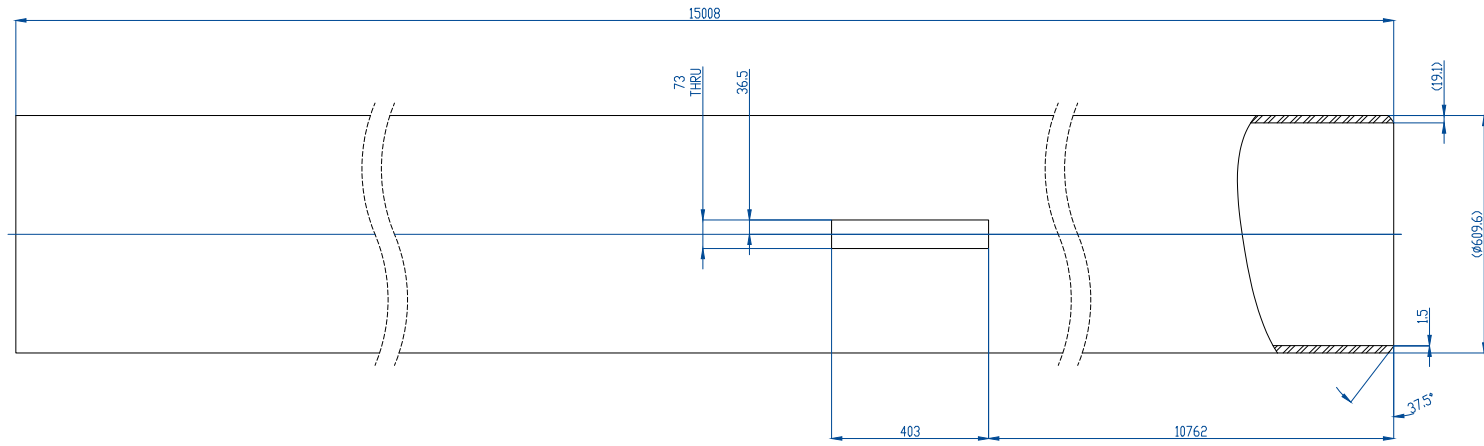
- 20 - PAINT TEXT "6,25 MTON SWL". TEXT SIZE: 50mm, COLOR: BLACK.
- 21 - COATING: CADMIUM-COATED, CLASS 12, TYPE II, OLIVE DRAB CHROMATED, AS PER ASTM B766-86(2015).
- 22 - GENERAL MANUFACTURING TOLERANCES:

| WELDING | |
|---------------------------|------------------|
| GENERAL TOLERANCES | |
| DIMENSIONS IN MILLIMETERS | |
| BREAK SHARP CORNERS | 0.50 ± 0.10 |
| FILLET RADIUS | 0.25 ± 0.10 |
| LENGTHS | 0.25 ± 0.10 |
| WIDTHS | 0.25 ± 0.10 |
| PARALLELISM | 0.25 ± 0.10 |
| XXX | ± 0.20 |
| XXX | ± 0.10 |
| XXX | ± 0.05 |
| ANGULAR | ± 0.50° |
| RELIEFS | 4.0 mm MIN. MAX. |

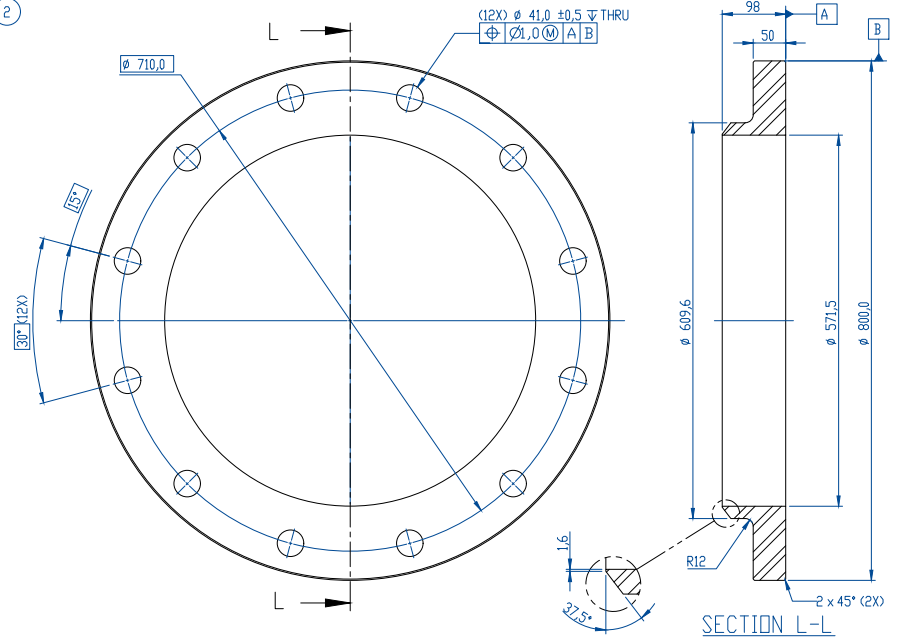
| WELDING | |
|---|------------------|
| GENERAL TOLERANCES (ACC. TO DIN 8570 Group B) | |
| LINEAR DIMENSIONS (mm) | |
| up to 30 | ± 0.10 |
| over 30 up to 100 | ± 0.15 |
| over 100 up to 300 | ± 0.20 |
| over 300 up to 500 | ± 0.25 |
| over 500 up to 1000 | ± 0.30 |
| over 1000 up to 3000 | ± 0.40 |
| over 3000 up to 10000 | ± 0.50 |
| over 10000 | ± 0.60 |
| ANGULAR DIMENSIONS | ± 0.50° |
| RELIEFS | 4.0 mm MIN. MAX. |

| | | |
|---------|--------------------------------|----------|
| 0 | DESENHO DE PROJETO FINAL | 01/06/22 |
| REV. | DESCRIPTION | DATE |
| PROGRAM | TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO | |
| AREA | CEFET - RJ / MARACANGÁ | |
| TITLE | JUMPER SPREADER BAR DRAWING | |

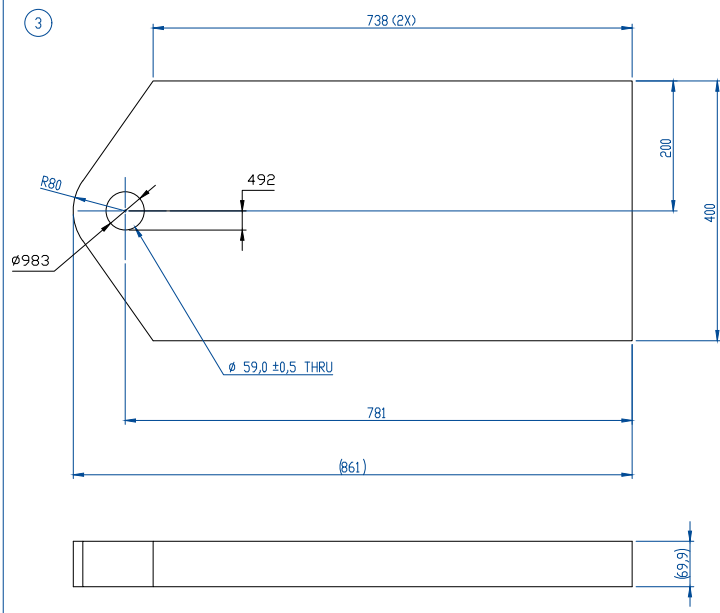
1



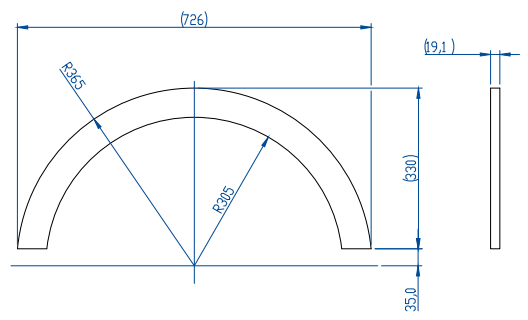
2



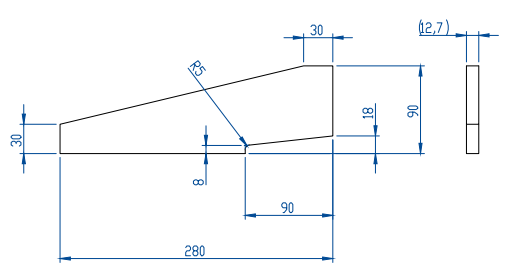
3



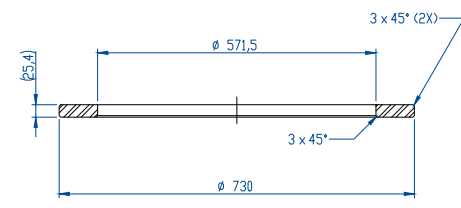
4



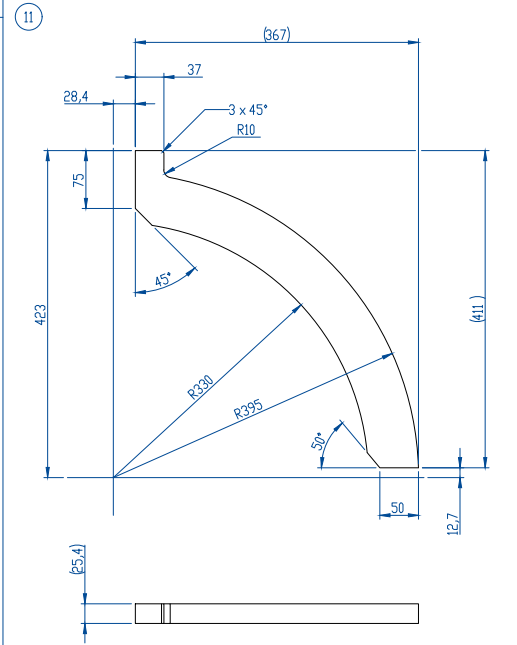
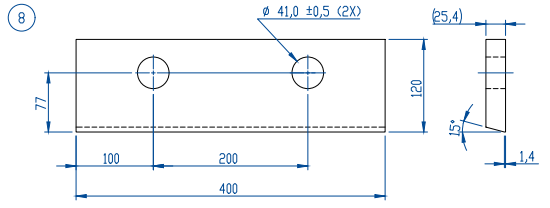
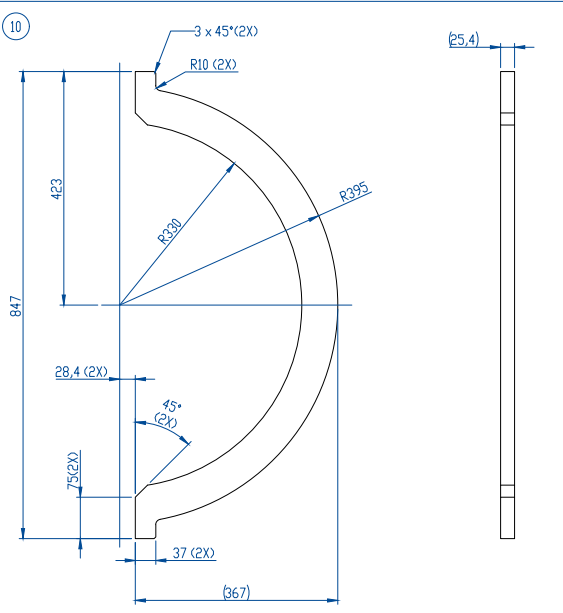
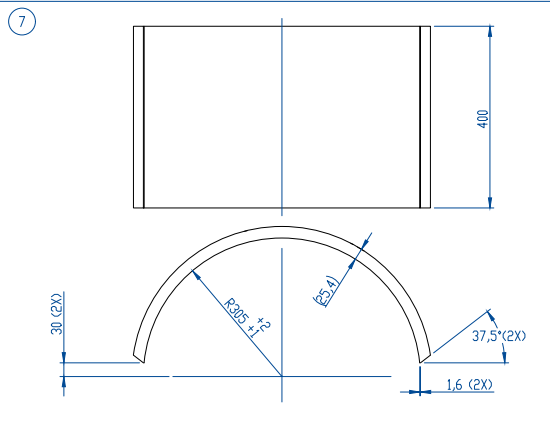
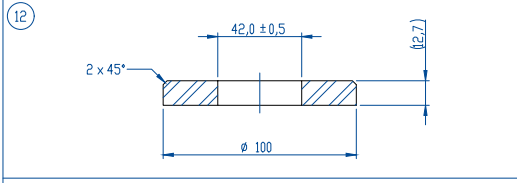
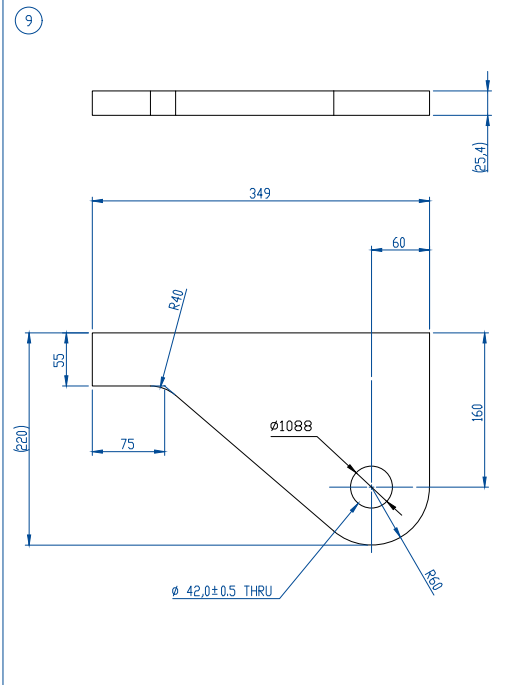
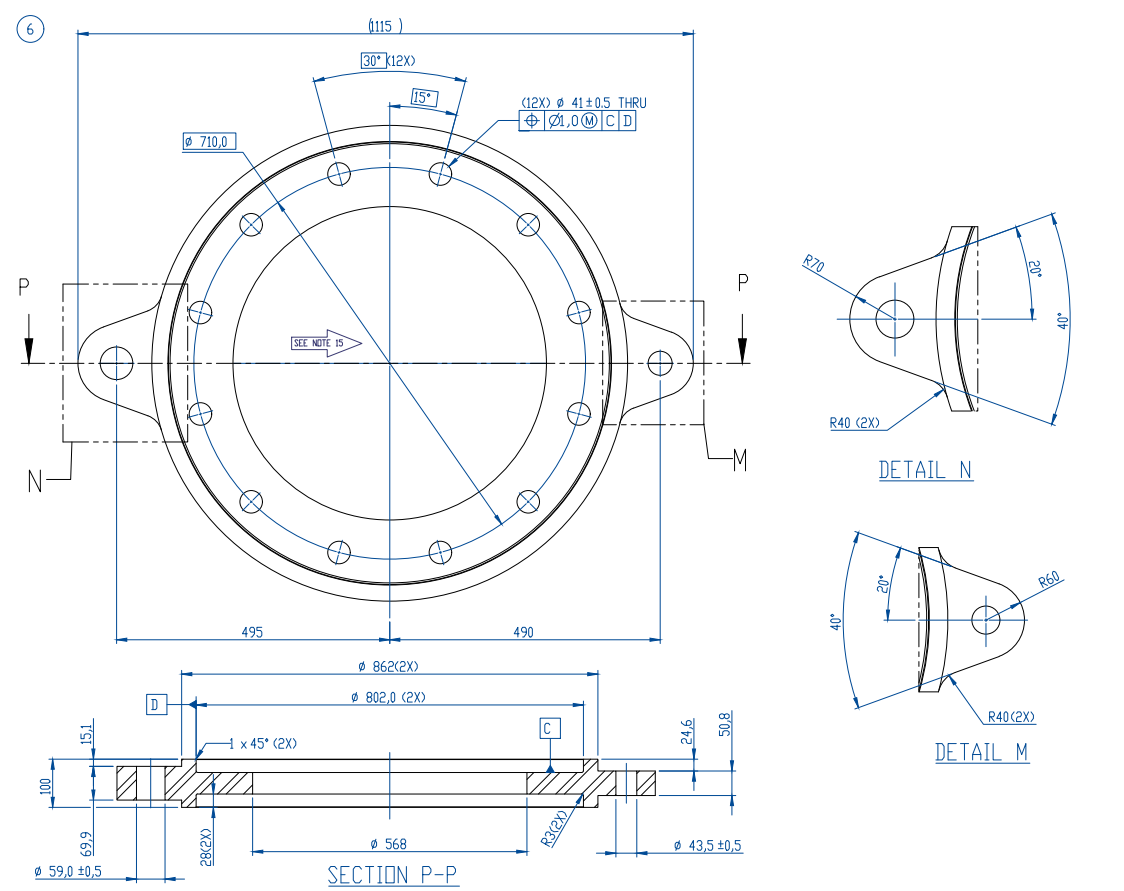
5



13



| | | |
|---------|--------------------------------|----------|
| 0 | DESENHO DE PROJETO FINAL | 01/06/22 |
| REV. | DESCRIPTION | DATE |
| PROGRAM | TRABALHO DE CONCLUSAO DE CURSO | |
| AREA: | CEFET - RJ / MARACANGA | |
| TITLE: | JUMPER SPREADER BAR DRAWING | |



| | | |
|---------|--------------------------------|----------|
| 0 | DESENHO DE PROJETO FINAL | 01/06/22 |
| REV. | DESCRIPTION | DATE |
| PROGRAM | TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO | |
| AREA: | CEFET - RJ / MARACANG | |
| TITLE: | JUMPER SPREADER BAR DRAWING | |