

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA BACHARELADO**

**FÁBIO SOUSA DE ALBUQUERQUE**

**ANÁLISE DO DISPOSITIVO PARA EXTRAÇÃO DOS PINOS DE  
ARTICULAÇÃO DO ENGATE RÁPIDO DO SISTEMA DE ATRACAÇÃO DE  
NAVIOS**

**SÃO LUÍS - MA**

**2015**

**FÁBIO SOUSA DE ALBUQUERQUE**

**ANÁLISE DO DISPOSITIVO PARA EXTRAÇÃO DOS PINOS DE  
ARTICULAÇÃO DO ENGATE RÁPIDO DO SISTEMA DE ATRACAÇÃO DE  
NAVIOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica. Prof. Orientador Me. Flávio Nunes Pereira

**SÃO LUÍS - MA**

**2015**

**FÁBIO SOUSA DE ALBUQUERQUE**

**ANÁLISE DO DISPOSITIVO PARA EXTRAÇÃO DOS PINOS DE  
ARTICULAÇÃO DO ENGATE RÁPIDO, DO SISTEMA DE ATRACAÇÃO DE  
NAVIOS.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Monografia defendida e aprovada, em \_\_\_\_ de Dezembro de 2015, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

---

Prof. Me. Flávio Nunes Pereira  
Orientador e Membro da Banca Examinadora

---

Prof. Me. José Henrique Bezerra  
Membro da Banca Examinadora

---

Prof. Me. Louryval Coelho Paixão  
Membro da Banca Examinadora

**SÃO LUÍS – 2015**

**Dezembro**

*Dedico esse trabalho a minha família que foi o meu porto seguro nos momentos de lutas e dificuldades e a todas as pessoas que acreditaram no meu potencial.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente, agradeço a Deus pela sabedoria, inteligência e multe forme graça que me acompanhou por esses anos de luta.*

*Aos meus pais José de Ribamar M. de Albuquerque e a Mary Luce Sousa de Albuquerque, pelo apoio e incentivo.*

*Ao meu Tio Jean Mesquita Ramos por acreditar no meu potencial e me apoiar nos estudos.*

*Aos meus chefes, Reginaldo Senna, Eng. Luís Gustavo Moura, Eng. Carlos dos Santos Marchado.*

*Aos meus líderes, Caetano Silva, Laudo Lacerda, Job Vianna*

*Ao professor e orientador Flávio Nunes Pereira que sempre esteve disposto a me auxiliar nesse trabalho.*

*A todos meus amigos que conviveram comigo no período da graduação dividindo experiências.*

*A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu pudesse chegar até aqui, colaborando para meu crescimento pessoal e intelectual.*

*“A homens que lutam um dia, e são bons;  
há homens que lutam por um ano, e são  
melhores; há homens que lutam por vários  
anos, e são muito bons; há outros que  
lutam durante toda a vida, esses são  
imprescindíveis.”*

*(Bertolt Brecht)*

# **ANÁLISE DO DISPOSITIVO PARA EXTRAÇÃO DOS PINOS DE ARTICULAÇÃO DO ENGATE RÁPIDO, DO SISTEMA DE ATRACAÇÃO DE NAVIOS.**

## **RESUMO**

SOUSA, Fábio de Albuquerque. **ANÁLISE DO DISPOSITIVO PARA EXTRAÇÃO DOS PINOS DE ARTICULAÇÃO DO ENGATE RÁPIDO, DO SISTEMA DE ATRACAÇÃO DE NAVIOS.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Maranhão.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como escopo, analisar o dispositivo de extração de pino do engate rápido dos píeres, calculando a pressão de montagem do pino e avaliar as tensões aplicadas no dispositivo. Todavia convencionou estudar partes específicas do dispositivo, partes estas que possuem maior relevância, como: o tubo – peça 1.1, parafuso – peça 1.5, cubo de fixação do parafuso – peça 1.2, (ver figura 16). A metodologia utilizada neste estudo foi descritiva. A utilização de normas técnicas descritas na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Na análise os softwares INVENTOR e o SOLIDWORS foram utilizados como ferramentas de avaliação e otimização dos resultados do processo de análise do dispositivo, comparando os resultados analíticos, de acordo com os valores calculados pelo software após ser inserido os principais dados relevantes.

**Palavras-Chave:** Análise do Dispositivo; INVENTOR, SOLIDWORS; ABNT.

# **ANALYSIS OF DEVICE FOR EXTRACTING THE COUPLING JOINT PINS, SHIP MOORING SYSTEM.**

## **ABSTRACT**

SOUSA, Fábio de Albuquerque. ANALYSIS OF DEVICE FOR EXTRACTING THE COUPLING JOINT PINS, SHIP MOORING SYSTEM. Monograph (Mechanical Engineering), exact sciences and Technology Center, Universidade Estadual do Maranhão.

Scope of this study is to examine the extraction device of the Quick disconnect pin of the piers, calculating the pressure pin Assembly and evaluate the stresses applied to the device. However agreed to study specific parts of the device, these parties, that have more relevance, as: the tube-part 1.1 – 1.5 piece screw, screw attachment hub-part 1.2, (see Figure 16). The methodology used in this study was descriptive. The use of technical standards described in the ABNT (Brazilian Association for technical standards). In the analysis the software Inventor and Solidwors were used as tools of evaluation and optimization of the results of the review process of the device comparing analytical results in accordance with the values calculated by the software after being inserted into the main relevant data.

**Keywords:** Analysis of the device; INVENTOR, SOLIDWORKS; AGMA

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Ciclo de Gerenciamento	23
Figura 2	Malha de Método de Elementos Finitos	28
Figura 3	Ajuste por Interferência Padrão	30
Figura 4	Corpo de Prova para Ensaio de Tração	31
Figura 5	Forma de Rosca Padrão	33
Figura 6	Soldagem por Filete	35
Figura 7	Postura Inadequada dos colaboradores	40
Figura 8	Uso de Marreta	41
Figura 9	Geração de Resíduos	41
Figura 10	Corrosão do Pino	42
Figura 11	Agressividade do ambiente	42
Figura 12	Perca do Pino pela ação do Oxiflame	42
Figura 13	Esforço Excessivo	43
Figura 14	Problemas ergométricos	43
Figura 15	Riscos de Explosão	44
Figura 16	Diagrama de Ishikawa	45
Figura 17	Desenho 2D do dispositivo de extração do Pino	48
Figura 18	Desenho 3D do dispositivo de extração do Pino	49
Figura 19	Diâmetro em milímetros da Peça – B	50
Figura 20	Análise de compressão da Peça B	51
Figura 21	Deformação em milímetro da Peça – B	52
Figura 22	Análise de Tração na Barra da Peça – B	54
Figura 23	Deformação em milímetro da Peça – A	55
Figura 24	Vista Superior da Peça – C	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Estratificação das atividades da troca de Pino.....	38
Gráfico 2	Histórico de Trocas de gato no ano 2014.....	39
Gráfico 3	Histórico em horas das trocas de gato no ano 2014.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz de Priorização – GUT	37
Tabela 2	Horas Empregadas na troca de gatos	38
Tabela 3	Característica do Problema	44
Tabela 4	Características do Problema	46
Tabela 5	Análise entre as tensões e deformações	52
Tabela 6	Informações da malha	52
Tabela 7	Análise entre as tensões e deformações	55
Tabela 8	Informação da malha	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGMA	<i>American Gear Manufacturers Association</i>
ASM	Referência ao engenheiro Adair Silveira Moraes
TPM	<i>Total productive maintenance</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PDCA	P- Plan "Planejar", D- Do "Executar", C- Check "Verificar", A- Action "Atuar"
CAD	Desenhos por auxílio do computador
MEF	Método de Elementos Finitos
CAE	Engenharia auxiliada por computador
NBR	Norma Brasileira
ISSO	Organização Internacional para Padronização
UNS	<i>Unified National Standard</i>
GUT	Gravidade, Urgência, Tendência
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
M36	Diâmetro de 36 mm de acordo com norma ABNT
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$s$	Coeficiente de Segurança
$a$	Fator do tipo de Material
$b$	Fator do tipo de Solicitação
$c$	Fator do tipo de Carga
$d$	Fator de Prevenção de Falhas de Fabricação
$p$	Pressão
$\Delta r$	Interferência Padrão
$\Delta$	Interferência diametral total entre as duas peças
$r_c$	Raio interno do cubo
$r_e$	Raio externo do eixo
$r_i$	Raio interno de um eixo vazado
$r_o$	Raio externo do cubo
$E_i$	Módulo de elasticidade eixo
$E_o$	Módulo de elasticidade cubo
$\nu_i$	Coeficiente de Poisson Eixo
$\nu_o$	Coeficiente de Poisson cubo
$d_o$	Diâmetro Inicial
$\sigma$	Tensão
$A_o$	Área inicial
$\varepsilon$	Deformação
$P$	Força
$l$	Comprimento de medida
$l_o$	Comprimento de medida inicial
$p$	Passo de rosca
$d_p$	Diâmetro primitivo

$dr$	Diâmetro de raiz
$A_t$	Área sob tração
$F$	Carga axial de tração
$\Delta l$	Alongamento do parafuso
$F$	Força
$A$	Área
$E$	Módulo de Elasticidade
$A_s$	Área de cisalhamento do filete de solda
$t$	Garganta do filete de solda é a altura
$L_w$	Comprimento de solda efetivo
$s$	Filete de solda efetivo
$\sigma_e$	Limite de escoamento
$F_s$	Fator de Segurança
$\sigma_{adm}$	Tensão admissível
$A_p$	Área de aplicação da força $A_p$
$D$	Diâmetro
$d$	Diâmetro interno
$\tau_w$	Tensão cisalhante
$dp$	Diâmetro primitivo
$dr$	Diâmetro de raiz

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>Introdução</b>	17
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	19
<b>3.</b>	<b>Metodologia</b>	20
<b>4.</b>	<b>Referencial Teórico</b>	21
4.1.	Projeto	22
4.1.1.	PDCA	24
4.1.2.	Brainstorming	24
4.1.3.	Matriz GUT	24
4.1.4.	Estratificação	24
4.1.5.	Diagrama Ishikawa	25
4.2.	Coeficiente de Segurança	25
4.2.1.	Valores Precisos de Coeficiente de Segurança	25
4.3.	Projetos Mecânicos Auxiliados por Computador	26
4.3.1.	Desenhos por Auxílio de Computador (CAD)	27
4.3.2.	Engenharia Auxiliada por Computador (CAE)	27
4.3.3.	Software Solidworks	27
4.3.4.	Elementos Finitos	28
4.4.	Interferência Padrão	29
4.5.	Ensaio de Tração	31
4.5.1.	Ensaio de Compressão	32
4.6.	Parafuso Peça A	32
4.6.1.	Área sob tração	34
4.7.	Soldagem	35
<b>5.</b>	<b>Estudo de Caso</b>	37
5.1.	Estratificação do Problema	37
5.2.	Diagrama de Causa e Efeito	45
5.3.	Cálculo da Pressão de Montagem do Pino	46
5.3.1.	Coeficiente de Segurança	47
5.4.	Dispositivo de Extração do Pino	48
5.5.	Cálculo dos Esforços da Peça B	49
5.5.1.	Área de Aplicação da Força	50

5.5.2.	Cálculo da Tensão no Tubo	50
5.5.3	Cálculo da Deformação no Tubo	50
5.6.	Simulação da Peça B	51
5.6.1.	Cálculo dos Esforços da Peça A	53
5.6.2.	Deformação da Peça A	53
5.6.3.	Simulação da Peça A	53
5.7.	Resistência da Solda Peça C	56
5.7.1.	Área de Cisalhamento do Filete de Solda	56
5.7.2.	Tensão Cisalhante Média na Garganta de Solda	56
5.8.	Cálculo da Tensão na Rosca do Parafuso – Peça A	57
5.8.1.	Diâmetro Primitivo	57
5.8.2.	Diâmetro de Raiz <i>dr</i>	57
5.8.3.	Área sobre Tração	57
5.8.4.	Tensão de Trabalho no Parafuso	57
5.8.5.	Tensão Admissível no Parafuso	57
<b>6.</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de atracação de navio é um conjunto de equipamentos usados para garantir que as embarcações fiquem fixas no píer evitando, assim, que os navios sejam arrastados pela força da ação da natureza como: Correnteza, ventos e ondas. O engate rápido dos píeres tem fator preponderante na fixação dos navios de grande porte, pois são resistentes e de fácil manuseio por parte dos colaboradores que fazem a sua utilização. Neste presente trabalho, será apresentada a dificuldade que se tem de extrair os pinos de articulação do engate rápido, comumente chamado de gato, e a análise do projeto (dispositivo), que foi elaborado para a retirada desse pino, pois como o sistema de atracação fica à beira mar, logo, encontra-se no ambiente favorável a corrosão do pino.

A manutenção é fundamental para manter a produtividade das empresas. E é sobre esse aspecto que foi feito este projeto, visando a implantação de dispositivo que reduza o tempo de manutenção e elimine os riscos graves para extração do pino. Como método utilizou-se o PDCA, que é muito usado na resolução de problemas e é composto de quatro fases e ainda ferramentas da qualidade para auxiliar no planejamento. Realizou-se levantamento em relação ao ano de 2014 das trocas dos pinos de articulação e identificadas algumas reclamações por parte dos executantes da atividade como: insatisfação dos executantes devido à postura inadequada durante a extração dos pinos; uso de ferramentas improvisadas e uso de ferramentas de alto risco.

Não basta uma empresa ter máquinas modernas, planos de expansão, mercado cativo, tecnologia de ponta, produtos de qualidade, preços competitivos, ótimos funcionários e programas de qualidade se ela não contar com um eficiente programa de manutenção mecânica. A manutenção mecânica é a alma dos setores produtivos empresariais. De fato, sem a manutenção mecânica das máquinas e equipamentos não seria possível: cumprir os cronogramas de fabricação; obter produtos de qualidade; diminuir os custos de produção; aumentar a competitividade; manter a fidelidade dos clientes; conquistar novos clientes; reduzir as perdas de matéria-prima e energia; competir em igualdade de condições no mercado interno e externo. [Weber et al., 2008]

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo Geral

Analisar as tensões críticas do dispositivo de extração de pinos e checar o dimensionamento do mesmo.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Realizar levantamento em relação ao ano de 2014 das trocas dos pinos nas unidades de atracação.
- Colher informações por parte dos executantes da atividade no processo de troca do componente mecânico (pino).
- Fazer memorial de cálculo, que mostre a força necessária para que o pino seja extraído.
- Usar ferramentas da engenharia da qualidade e seus métodos de resolução de problemas.
- Utilizar softwares, SOLIDWORKS, INVENTOR, para simular os esforços do projeto e dimensionamento do dispositivo.

### **3. METODOLOGIA**

O tipo de pesquisa foi bibliográfico através de livros e apostilas. Análise no ano de 2014, das trocas dos componentes mecânicos das unidades de atracação. Valores dos estudos, inseridos nos softwares SOLID WORKS, INVENTOR para auxílio no dimensionamento e modelagem do dispositivo.

#### 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nos tempos modernos, o aumento da competitividade das empresas e o atual cenário mundial faz com que os profissionais sejam cada vez mais engajados em melhorar o processo de manutenção de equipamento.

Observa-se que, a indústria desenvolve nos trabalhadores a autonomia para tomada de decisões, capacidade de inovar e criar maneiras de aumentar a produtividade, eliminar desperdícios, maximizar os resultados e diminuir os custos na produção e manutenção de equipamento.

Durante muito tempo, as indústrias funcionaram com o sistema de manutenção corretiva. Com isso, ocorreram desperdícios, retrabalhos, perda de tempo e de esforços humanos, além de prejuízos financeiros.

A partir da análise desse problema passou-se a dar ênfase na manutenção preventiva. Com enfoque nesse tipo de manutenção foi desenvolvido o conceito de manutenção produtiva total, conhecido pela sigla TPM (*Total Productive Maintenance*), que inclui programas de manutenção preventiva e preditiva. [Weber et al., 2008]

A manutenção mecânica industrial é importante campo de conhecimento dentro da engenharia mecânica, tem fundamental relevância para todo o sistema industrial, por conseguinte, tem como alvo a prevenção e correção de problemas mecânicos com métodos de manutenção preventiva e equipamentos, assim como cada pequeno componente que constitui a máquina.

O que se ver é que a manutenção mecânica alcança cada vez mais o seu espaço, pois ela deixa de ser um fim para o alvo, que é a produtividade e passa a ser o meio pelo qual se chegará à produtividade. Haja vista que, o aumento da lucratividade está atrelado à disponibilidade dos equipamentos.

Se um equipamento falha ou quebra, vindo assim a parar de funcionar, toda a produção fica comprometida. Em se tratando de um mercado cada vez mais exigente com os prazos de entrega de produtos ou serviços, a manutenção tem como meta diferenciar as empresas concorrentes. Portanto, é nesse parâmetro de melhoria contínua do processo de manutenção preventiva que este estudo de caso faz seus alicerces, pois o projeto do dispositivo desenvolvido em questão aumentará de forma significativa a

produtividade e a diminuição no tempo empregado na execução da atividade de manutenção.

#### 4.1. Projeto

Projetar consiste tanto em formular um plano para a satisfação de uma necessidade específica, quanto em solucionar um problema. Se tal plano resultar na criação de algo tendo uma realidade física então, o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, manufaturável e mercável. Esses termos são definidos da seguinte forma:

- Funcional - O produto deve apresentar um desempenho que atenda às necessidades e expectativas do consumidor;
- Seguro - O produto não deve oferecer perigo ao usuário, as circunstâncias ou a propriedades vizinhas. Perigos que não podem ser "evitados por projeto" devem se valer de anteparos (envoltórios protetores); se isso não for possível, informações apropriadas ou avisos devem ser fornecidos;
- Confiável - Confiabilidade é a probabilidade condicional, a um determinado nível de confiança, de que o produto irá desempenhar sua função proposta satisfatoriamente, ou sem falhar a uma determinada idade;
- Competitivo - O produto deve ser um forte competidor em seu mercado;
- Utilizável - O produto deve ser "amigável ao usuário", acomodando-se a especificações como tamanho, resistência, postura, alcance, força, potência e controle humanos;
- Manufaturável - O produto deve ser reduzido a um número "mínimo" de componentes adequados à produção em massa, com dimensões, distorção e resistência sobre controle;
- Mercável - O produto pode ser comprado e serviços de assistência técnica devem estar disponíveis. (SHIGLEY.2005)

Segundo Norton, projeto de engenharia pode ser definido como: “O processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização”.

#### 4.1.1. PDCA

Segundo Felipe Bezerra, o PDCA tem por objetivo a melhoria contínua das etapas de um processo, por isso, ele se encontra vinculado aos fundamentos da Filosofia Kaizen (cultura japonesa referente à melhoria contínua e um dos pilares da administração da qualidade). Assim como a Filosofia Kaizen, uma das finalidades do ciclo PDCA é a celeridade e o aperfeiçoamento dos processos de uma empresa identificando as causas de seus problemas e implementando soluções para os mesmos.

Contudo, é importante ressaltar também que, devido a ferramenta se fundamentar em um ciclo todo o seu processo é formado por atividades planejadas e recorrentes, com a teoria de que ele não possui um fim pré-determinado. O ciclo PDCA tem seu início pela etapa de planejamento (Plan), nesta etapa o objetivo é focar na parte estratégica do ciclo, ou seja, no levantamento e análise das informações. Em seguida, ocorre a execução (Do), onde tudo aquilo previamente planejado é executado, gerando a necessidade de avaliar a qualidade do que está sendo feito e nos leva a etapa do processo de checagem (Check). Nesta etapa temos a verificação de tudo o que foi feito comparando o que havia sido planejado com o resultado final e com consequentes problemas e falhas que possam ter ocorrido durante o processo. Por fim, toda essa análise implica na necessidade de ação (Act) e na correção dos problemas e divergências encontradas. Segue abaixo uma análise minuciosa de cada etapa do ciclo PDCA:

1 – P = (Plan/Planejamento): Primeira etapa do ciclo. Deve-se estabelecer um plano com base nas diretrizes da empresa, estabelecendo também os objetivos, os caminhos e os métodos a serem seguidos. Depois é feita a identificação e correção dos problemas encontrados através de uma ação corretiva eficiente. Nesta parte, constam os itens descritivos do problema, as questões que se pretende responder, as previsões dessas questões (palpite sobre algo) e o desenvolvimento de um plano de ação.

2 – D = (Do / Executar): Significa colocar o planejamento em prática, isto é, executar o plano de ação previamente elaborado na etapa de planejamento do ciclo PDCA, de modo rigorosamente de acordo com o planejamento pré-estabelecido. No caso, com a condução do plano, as mudanças no processo e as observações sobre o mesmo, devem ser coletados também os dados para a verificação do processo na próxima etapa do ciclo.

3 – C = (Check / Checagem): É a terceira etapa do ciclo. Neste caso, deve-se avaliar o que foi feito durante a etapa de execução, fazendo comparações e identificando as diferenças entre o planejamento e o que foi realizado. Devemos verificar o que foi aprendido durante a execução do plano, comparando os resultados com as previsões que foram feitas na etapa de planejamento. Sendo assim, conseguimos observar se foram alcançados os objetivos ou não. (Verificação dos padrões de qualidade).

4 – A = (Act / Ação): É a realização das ações corretivas, que visam a correção das falhas encontradas durante o processo. Após a correção ser realizada, deve-se repetir o ciclo. É nessa etapa que o ciclo reinicia dando continuidade ao processo de melhoria contínua. Resumindo, é através da análise crítica do ciclo PDCA, que se estabelece um plano de ação definitivo para implementação das atividades a serem executadas após os estudos do ciclo.



Figura 1 – Ciclo PDCA

Fonte: (José Luiz, 2012)

Por fim, é importante lembrar que, o processo de melhoria contínua deve sempre continuar não precisando, necessariamente, ter uma conclusão. O processo de melhoria proporcionado pelo PDCA deve ter por base as ações corretivas do ciclo primário, por isso, sempre ao final de cada ciclo deve-se iniciar um novo circuito, tendo em vista uma melhoria ainda mais específica do processo e de suas etapas. Teoricamente, esse é o grande segredo do sucesso deste método, pois as melhorias que

ocorrem a partir de outra feita anteriormente ajudam a gerar um processo de qualidade e ao mesmo tempo altamente produtivo para a empresa em si. [Bezerra, 2014]

#### 4.1.2. Brainstorming

Brainstorming é uma ferramenta para geração de novas ideias, conceitos e soluções para qualquer assunto ou tópico num ambiente livre de críticas e de restrições à imaginação. O Brainstorming é útil quando se deseja gerar em curto prazo uma grande quantidade de ideias sobre um assunto a ser resolvido, possíveis causas de um problema, abordagens a serem usadas, ou ações a serem tomadas. [Almeida. 2012]

O brainstorming é uma técnica de trabalho em grupo criada por Alex Osborn que a descreveu em seu livro "O Poder Criador da Mente", lançado em 1953. É conhecida no Brasil como "tempestade de ideias" e permite a geração, num curto espaço de tempo, de um elevado número de ideias. As sessões de brainstorming são conduzidas por um moderador, que deve potencializar a participação de todos os integrantes do grupo. É comum também a designação de um secretário, que assistirá o moderador, anotando as ideias que surjam. [Diego, 2010]

#### 4.1.3. Matriz GUT

A matriz GUT é uma ferramenta bastante utilizada pelas empresas, principalmente, com o intuito de priorizar os problemas e conseqüentemente trata-los, levando em conta suas gravidades, urgências e tendências. Essa ferramenta auxilia na formação de estratégias, gestão de projetos e também na coleta de dados (levantamentos de informações). (Bastos, 2014)

#### 4.1.4. Estratificação

A estratificação é o método usado para separar (ou estratificar) um conjunto de dados de modo a perceber que existe um padrão. Quando esse padrão é descoberto, fica fácil detectar o problema e identificar suas causas. A estratificação ajuda a verificar o impacto de uma determinada causa sobre o efeito estudado e ajuda a detectar um problema. [Bezerra, 2014].

#### 4.1.5. Diagrama Ishikawa

Diagrama de Causa e Efeito é também conhecido como Diagrama de Ishikawa, ou espinha de Peixe. O método do Diagrama de Causa e Efeito atua como um guia para a identificação da causa fundamental de um efeito que ocorre em um determinado processo. (Godoy, 2009)

#### 4.2. Coeficiente de Segurança

A escolha de um coeficiente de segurança baixo pode levar à estrutura a possibilidade de ruptura e a escolha de um coeficiente de segurança alto pode levar a um projeto antieconômico.

Consideração de alguns fatores que influenciam na escolha do coeficiente de segurança.

- i. Modificações que ocorrem nas propriedades dos materiais;
- ii. O número de vezes em que a carga é aplicada durante a vida da estrutura ou máquina;
- iii. O tipo de carregamento para o qual se projeta, ou que poderá atuar futuramente o modo de ruptura que pode ocorrer;
- iv. Métodos aproximados e análise;
- v. Deterioração que poderá ocorrer no futuro devido à falta de manutenção ou por causas naturais imprevisíveis;
- vi. A importância de certo membro para a integridade de toda a estrutura. [Selletti bufoni,2008].

Segundo Izildo (2000), o coeficiente de segurança é um número maior que um (1), usado para corrigir, entre outros fatores, possíveis defeitos do material, tais como, bolhas, impurezas, vazios, etc. O coeficiente de segurança permite trabalhar com tensões admissíveis menores.

##### 4.2.1. Valores Precisos de Coeficiente de Segurança

Segundo Bach, “s” pode ser expresso por:

$$s = a \times b \times c \times d \quad (1)$$

$s = \text{coeficiente de segurança}$

a: Fator do tipo de Material

a= 2 , para materiais comuns

a=1,5 para aço de qualidade e aços liga

b: Fator do tipo de Solicitação

b= 1 carregamento constante

b= 2 para carregamento intermitente

b= 3 para carregamento alternado

c: Fator do tipo de Carga

c= 1 para carga aplicada gradualmente

c= 1,5 para leves aplicadas repentinamente (choques leves)

c= 2 para choques bruscos

d: Fator de Prevenção de Falhas de Fabricação

d= 1 a 1,5 para aços

d= 1,5 a 2 para outros

#### 4.3. Projetos Mecânicos Auxiliados por Computador

Métodos tediosos de soluções gráficas foram desenvolvidos no passado para contornar a falta de um poder computacional disponível com régua de cálculo. Alguns desses métodos ainda têm valor porque podem mostrar os resultados de uma forma compreensível, mas não se pode mais “fazer engenharia” sem utilizar o instrumento mais recente e mais poderoso: o computador. (Norton, 2013)

#### 4.3.1. Desenhos por auxílio do computador (CAD)

Os sistemas de CAD originais de uma geração atrás eram essencialmente ferramentas de desenho que permitiam a criação de desenhos de vista múltipla gerados por computador semelhantes aos feitos durante séculos manualmente na prancheta. Os dados armazenados nesses sistemas de CAD iniciais eram representações estritamente bidimensionais de projeções ortográficas da geometria 3D verdadeira da peça. Somente as bordas da peça eram definidas no banco de dados. (Norton, 2013)

Alguns sistemas de CAD incluem a capacidade de geração de malhas que cria uma malha de elementos finitos automaticamente antes de enviar os dados para o software. Essa combinação de ferramentas proporciona um meio extremamente poderoso para se obter projetos superiores cujas tensões são mais precisamente conhecidas do que seria possível utilizando as técnicas de análise convencionais quando a geometria é complexa. (Norton, 2013)

#### 4.3.2. Engenharia auxiliada por computador (CAE)

Segundo Render (1998), CAE significa *Computer Aided Engineering*, ou seja, Engenharia Auxiliada por Computador. A ferramenta CAE é uma grande aliada para os engenheiros, arquitetos, projetistas e designers, pois ela possibilita a simulação em condições reais do produto. Essas simulações podem ser: estáticas, dinâmicas, acústicas, térmicas, de fluídos e de impactos. O CAE possui diversas vantagens em sua utilização, como: redução de custos, aumento da produtividade, maior eficiência e desempenho do projeto, eliminação de protótipos físicos, entre outras.

#### 4.3.3. Software Solidworks

O SOLIDWORKS é um software para modelamento de projetos em 3 dimensões, o que possibilita uma visão ampla do projeto e componentes, o que fornecer aos engenheiros, projetistas e outros profissionais criativos as ferramentas necessárias para criar os melhores produtos. Além do CAD mecânico este software também oferece uma variedade de produtos de simulação para ajudá-lo a ter seus projetos um pouco antes de enviá-los para produção. O SOLIDWORKS 2015 que foi utilizado para executar os desenhos inclui muitas melhorias e aprimoramentos.

#### 4.3.4. Elementos Finitos

Segundo Remo (2005), o método de elementos finitos (MEF), corresponde a um método numérico para análises de vários fenômenos físicos que ocorrem em meios contínuos, e que são descritos através de equações diferenciais parciais. O MEF é bastante genérico, e pode ser aplicado na solução de inúmeros problemas da engenharia.

A ideia principal do Método dos Elementos Finitos consiste em se dividir o domínio (meio contínuo) do problema em sub-regiões de geometria simples (formato triangular, quadrilateral, cúbico, etc.), conforme ilustra esquematicamente a Figura 2. Esta ideia é bastante utilizada na engenharia, onde usualmente tenta-se resolver um problema complexo, subdividindo-o em uma série de problemas mais simples. Logo, trata-se de um procedimento intuitivo para os engenheiros. Remo (2005)

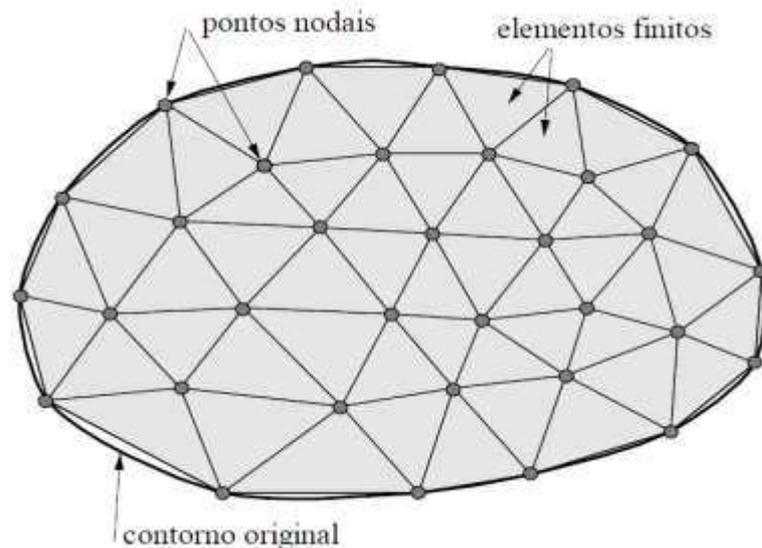


Figura – 2, malha de método de elementos finitos  
Fonte: Google (2015)

As tensões variam através do contínuo de qualquer componente. Dividindo esse componente em um número finito de elementos discretos conectados pelos seus nós (chamados de malha), pode-se obter uma aproximação das tensões e deformações, em qualquer parte do componente, para um dado conjunto de condições de contorno e de cargas aplicadas em alguns nós da estrutura. A aproximação pode ser melhorada pelo uso de mais elementos de tamanho menor, ao custo do aumento do tempo de processamento. (Norton, 2013)

#### 4.4. Interferência Padrão

Devido à grande dificuldade de extração do pino e a sua alta corrosão, partiu-se do seguinte pressuposto. Para que o eixo seja acoplado no cubo há uma pressão de montagem, que por sua vez, tem uma interferência padrão entre os componentes mecânicos da unidade de atracação, ou seja, diferença diametral entre o cubo e o eixo.

Portanto, na montagem do eixo não há interferência, pois o diâmetro do eixo é cerca de  $0,2\text{ mm}$ , menor que o diâmetro do cubo. Todavia, é convencional adotar uma interferência padrão de montagem, devido a interferência causada pela oxidação do pino.

Outro meio comum de acoplamento de um cubo a um eixo é usar um ajuste por pressão ou por encolhimento, também chamado de ajuste por interferência. Um ajuste por pressão é obtido fazendo um buraco no cubo para um diâmetro ligeiramente menor que aquele do eixo, como mostrado na Figura 3. Então, as duas partes são forçadas juntas lentamente em uma prensa, de preferência com óleo lubrificante aplicado à junta.

A deflexão elástica do eixo e do cubo atua no sentido de criar grandes forças normais e de atrito entre as partes. A força de atrito transmite o torque do eixo ao cubo e resiste igualmente a movimentos axiais. A *American Gear Manufacturers Association* (AGMA) publica uma padronização ABMA 9003-A91, Acoplamentos Flexíveis – Ajustes sem Chavetas (*Flexible Couplings – Keyless Fits*), que define fórmulas para o cálculo de ajustes por interferência. Somente peças relativamente pequenas podem ser ajustadas por pressão sem exceder a capacidade de força de uma prensa típica de oficina mecânica. Para peças grandes, um ajuste por encolhimento pode ser feito aquecendo-se o cubo para expandir seu diâmetro interno e/ou um ajuste por expansão pode ser feito resfriando-se o eixo para reduzir seu diâmetro.

As peças quentes e frias podem ser escorregadas juntas com uma pequena força axial e quando elas entrarem em equilíbrio com a temperatura ambiente suas variações dimensionais irá criar a interferência desejada para contato por atrito. Outro método é expandir hidráulicamente o cubo com óleo pressurizado por condutos no eixo ou cubo. Essa técnica também pode ser usada para remover um cubo. A quantidade de interferência necessária para criar uma junta apertada varia com o diâmetro do eixo. O

típico é aproximadamente 0,001 a 0,002 unidades de interferência diametral por unidade de diâmetro do eixo (a regra dos milésimos), as quantidades menores sendo usadas com diâmetros de eixo maiores. Por exemplo, a interferência para um diâmetro de 2 in seria cerca de 0,004 in, mas um diâmetro de 8 in receberia somente cerca de 0,009 a 0,010 in de interferência. Outra regra de memória de usinagem (e mais simples) é usar 0,001 in de interferência para diâmetros até 1 in e 0,002 in para diâmetros de 1 até 4 in. (Norton, 2013).

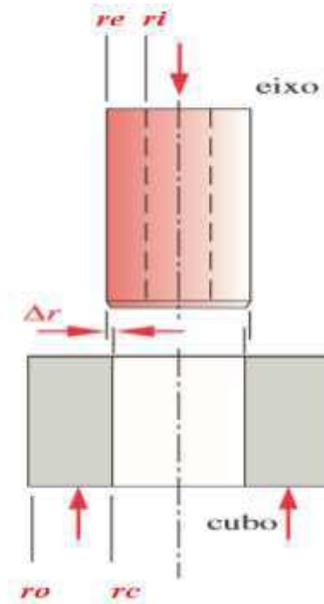


Figura 3 - Ajuste por interferência Padrão  
Fonte: (Norton, 2013)

Um ajuste por interferência cria o mesmo estado de tensão no eixo que uma pressão uniforme externa criaria na sua superfície. O cubo experimenta as mesmas tensões que um cilindro de parede grossa sujeito à pressão interna.

A pressão  $p$  criada pelo ajuste à pressão pode ser encontrada pela deformação dos materiais causada pela interferência.

$$p = \frac{0.5 \times \delta}{\frac{rc}{Eo} \times \left( \frac{ro^2 + rc^2}{ro^2 - rc^2} + \nu o \right) + \frac{re}{Ei} \times \left( \frac{re^2 + ri^2}{re - ri^2} + \nu i \right)} \quad (2)$$

- $\delta = 2\Delta r$  é a interferência diametral total entre as duas peças.
- $rc$  é o raio interno do cubo
- $re$  é o raio externo do eixo
- $ri$  é o raio interno (se houver) de um eixo vazado

- $r_o$  é o raio externo do cubo
- $E_i$  e  $E_o$  são o módulo de elasticidade do material, eixo e cubo respectivamente;
- $\nu_i$  e  $\nu_o$ , são o coeficiente de Poisson das duas partes, eixo e cubo respectivamente

#### 4.5. Ensaio de Tração

O corpo de prova é visto na figura 4, cujo material é igual a peça que será fabricada. Existem vários diâmetros padrões  $d_o$ , para testes e comprimentos de medidas  $l_o$ , este comprimento é definido por duas marcas pré-estabelecidas onde possa ser medida a variação desse comprimento no decorrer da aplicação da tensão.

As extremidades com diâmetros maiores do corpo de prova são rosqueadas para inserção em uma máquina de ensaio de tração capaz de aplicar forças controladas ou deslocamentos controlados nas extremidades do corpo de prova (Norton,2013)

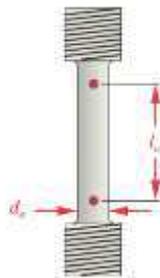


Figura 4 - Corpo de prova para ensaio de Tração  
Fonte: (Norton, 2013)

O corpo de prova é estendido lentamente em tração até romper-se, enquanto a força e a distância entre as marcas do comprimento de medida (ou, alternativamente, a deformação específica) são continuamente monitorados. (Norton, 2013).

Os parâmetros analisados são força e deslocamento. Todavia, o que é representado em diagrama são tensão e deformação. A tensão ( $\sigma$ ) é descrita como força por unidade de área, e para o corpo de prova sobre tração é calculada da seguinte forma:

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \quad (3)$$

Onde  $P$  é a força aplicada em um determinado instante e  $A_0$  é a área inicial da seção transversal do corpo de prova. A tensão é distribuída uniformemente na seção transversal, suas unidades de tensão podem ser *psi* ou *Pa*.

Ao tracionar o corpo de prova, o mesmo sofre uma deformação específica, que consiste na variação do seu comprimento por unidade de comprimento e é calculada por:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (4)$$

Onde,  $l_0$  é o comprimento de medida inicial e  $l$  é o comprimento de medida sob a ação da força  $P$ . A deformação específica é adimensional, sendo que o comprimento é dividido por comprimento.

#### 4.5.1. Ensaio de Compressão

Segundo Hill, embora aplicado em materiais frágeis como o ferro fundido, o ensaio de compressão apresenta certas limitações, devido à dificuldade de aplicar-se uma carga axial ou verdadeiramente concêntrica; ocorrência de atrito entre os cabeçotes das máquinas de ensaio e as faces dos corpos de prova, o que pode alterar os resultados. (Tecnologia Mecânica, 2010)

De modo geral, pode-se dizer que a compressão é um esforço axial que tende a provocar um encurtamento do corpo submetido a este esforço. Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda a seção transversal do corpo de prova. Do mesmo modo que o ensaio de tração, o ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios, com a adaptação de duas placas lisas - uma fixa e outra móvel. É entre elas que o corpo de prova é apoiado e mantido firme durante a compressão.

As relações que valem para a tração valem também para a compressão. Isso significa que um corpo submetido à compressão também sofre uma deformação elástica e a seguir uma deformação plástica. (Fibellino, 2011).

#### 4.6. Parafuso Peça - A

Um parafuso prisioneiro é um parafuso sem cabeça, com roscas em ambas as extremidades e que se pretende utilizar de maneira semipermanente como metade de uma junta. Então, um furo na região de engajamento desce para a parte que se estende passando o prisioneiro e é mantido por meio de uma porca.

Cada extremidade do prisioneiro pode tanto ter um passo igual quanto diferente. A extremidade permanente possui algumas vezes uma rosca de alta classe ajustada para se agarrar ao furo rosqueado e resistir ao afrouxamento quando a porca é removida da metade superior. (Norton, 2013)

O padrão europeu é definido pela ISO e tem essencialmente a mesma forma de seção transversal de rosca, usando, porém, dimensões métricas e, portanto, não é intercambiável com as roscas UNS. Os sistemas, UNS e ISO, contudo, são utilizados corriqueiramente nos Estados Unidos. Ambos utilizam um ângulo incluído de  $60^\circ$  e definem o tamanho de rosca pelo diâmetro nominal externo (máximo)  $d$  da rosca externa. (Figura 5)

O passo de rosca  $p$  é a distância entre roscas adjacentes. Crista e raiz são tomadas como planas para reduzir a concentração de tensões que ocorre em canto vivo. As especificações permitem que se arredondem esses recortes devido ao desgaste de ferramenta. O diâmetro primitivo  $d_p$  e o diâmetro de raiz  $d_r$  são definidos em termos do passo de rosca  $p$  com razões ligeiramente diferentes encontradas nas roscas UNS e ISO. (Norton, 2013)

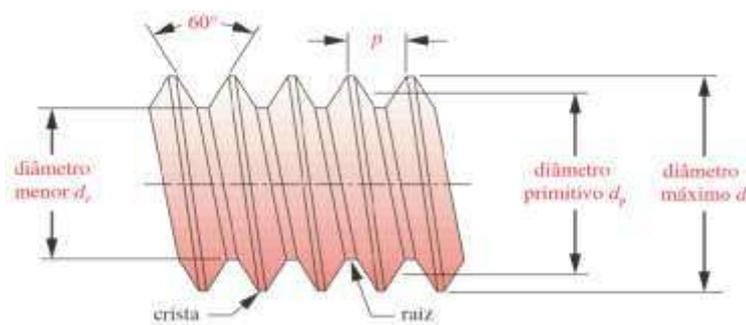


Figura 5 - Forma de rosca padrão  
Fonte: (Norton,2013)

#### 4.6.1. Área sob tração

Segundo Norton, se uma barra rosqueada, como mostrado na Figura 3, é submetida a uma carga de tração pura, é de se esperar que sua resistência seja limitada pela área do seu diâmetro menor (de raiz)  $d_r$ . Contudo, testes de barras rosqueadas sob tração mostram que a sua resistência à tração é mais bem definida pela média dos diâmetros menor e primitivo. A área sob tração  $A_t$  é definida como:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 \quad (5)$$

E para roscas ISO:

$$d_p = d - \frac{0,649519}{p} \quad (6)$$

$$d_r = d - \frac{1,226869}{p} \quad (7)$$

Com  $d$  = diâmetro externo e  $p$  = passo em milímetros. A tensão em uma barra rosqueada devida a uma carga axial de tração  $F$  é, então,

$$\sigma = \frac{F}{A_t} \quad (8)$$

Pode-se calcular o alongamento do parafuso pela seguinte expressão:

$$\Delta l = \frac{F \times l}{A \times E} \quad (9)$$

Onde:

$\Delta l$  = Deformação do parafuso em milímetros.

$F$  = Força de aplicação da carga.

$l$  = Comprimento do parafuso.

$A$  = Área do parafuso.

$E$  = Módulo de Elasticidade.

#### 4.7. Soldagem

Segundo Collins (2006), quando uniões permanentes é uma escolha de projeto apropriada, a soldagem é frequentemente uma alternativa economicamente atrativa aos elementos de fixação roscados ou rebites. A maior parte dos processos de soldagem industriais envolve a fusão local das peças a serem unidas, em suas interfaces comuns, para produzir um conjunto soldado. O calor é fornecido por um arco elétrico. Normalmente, um gás inerte ou um fluxo é utilizado para proteger a região da solda da atmosfera durante o processo de soldagem, e um metal de adição é introduzido de modo que seja obtida uma solda perfeita, sem contaminação.

As distribuições de tensão exatas em filetes de solda carregados são não-lineares e difíceis de se estimar com precisão. Tornou-se uma prática comum basear a dimensão requerida para os filetes de solda na tensão cisalhante média através da garganta da junta. Como mostra na figura 6, a garganta do filete de solda é a altura  $t$  de um triângulo equilátero, cujas pernas  $s$  são iguais à dimensão do filete.

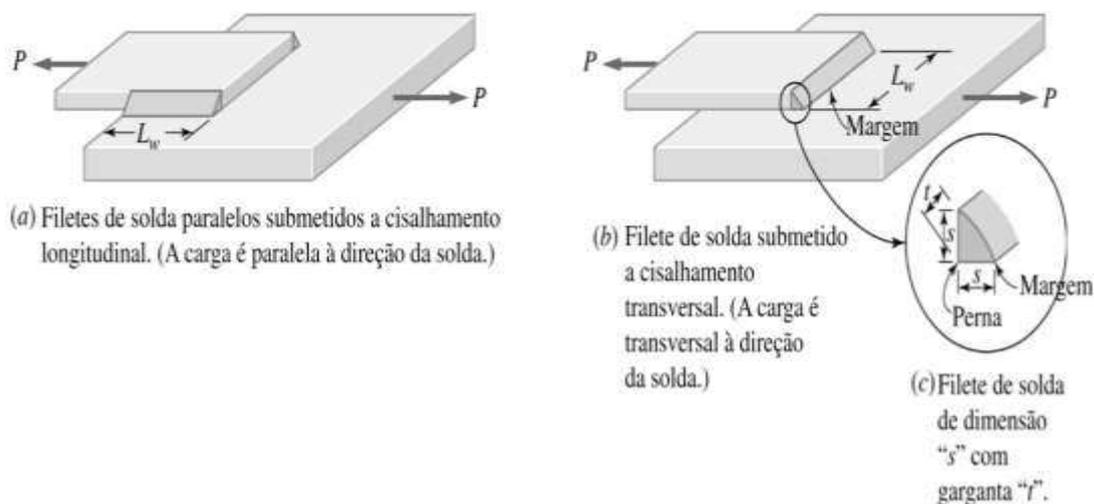


Figura 6 – Soldagem por Filete  
Fonte: (Collins, 2013)

Portanto:

$$t = 0,707 \times s \quad (10)$$

E a área de cisalhamento do filete de solda é

$$A_s = 0,707 \times s \times L_w \quad (11)$$

Onde,  $L_w$  = comprimento de solda efetivo.

Portanto, para soldas carregadas simetricamente e submetidas a um cisalhamento transversal ou longitudinal, a tensão cisalhante média na garganta de solda pode ser calculada como:

$$\tau_w = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{0,707 \times s \times L_w} \quad (12)$$

## 5. ESTUDO DE CASO

Depois das ideias lançadas como uma tempestade houve a necessidade de priorizar o problema mais contundente e importante. Logo, uma matriz GUT, foi criada, Tabela 1.

Tabela 01 – Matriz de Priorização – GUT

PROBLEMAS	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	TOTAL
Ineficiência do sistema de lubrificação dos ganchos de engate dos píeres.	3	3	9	81
Dificuldade na troca do rolamento do tambor esticador dos Cns III,IV e V.	9	3	9	243
<b>Dificuldade na extração dos pinos de articulação do engate rápido dos Píeres.</b>	9	9	9	729
Acesso restrito na realização de alinhamento do conjunto de acionamento do Redley do tr-315k-18	3	3	3	27
Dificuldade de troca de rolamentos de grade porte no transportador da linha I	9	3	3	81

(Fábio, 2014)

Através da matriz GUT (Tabela 1) pôde se observar qual o problema que deve ser priorizado, pois para todos os itens, gravidade, urgência e tendência, atribuiu-se uma pontuação de 0 a 9 simbolizando o grau de importância. Depois os valores são multiplicados. O total maior corresponde ao problema que deve ser priorizado primeiro. Em questão, o que será priorizado é a dificuldade na extração dos pinos de articulação do engate rápido dos píeres.

### 5.1. Estratificação do Problema

Após a definição do projeto de extração do pino foi relacionado o tamanho da lacuna do problema. Na tabela 2, mostra o primeiro passo, o relacionamento de todos os elementos da tarefa, que eram realizadas durante a atividade de troca do gato, e o que se observa é que 4 horas de trabalho são empregadas na extração do pino.

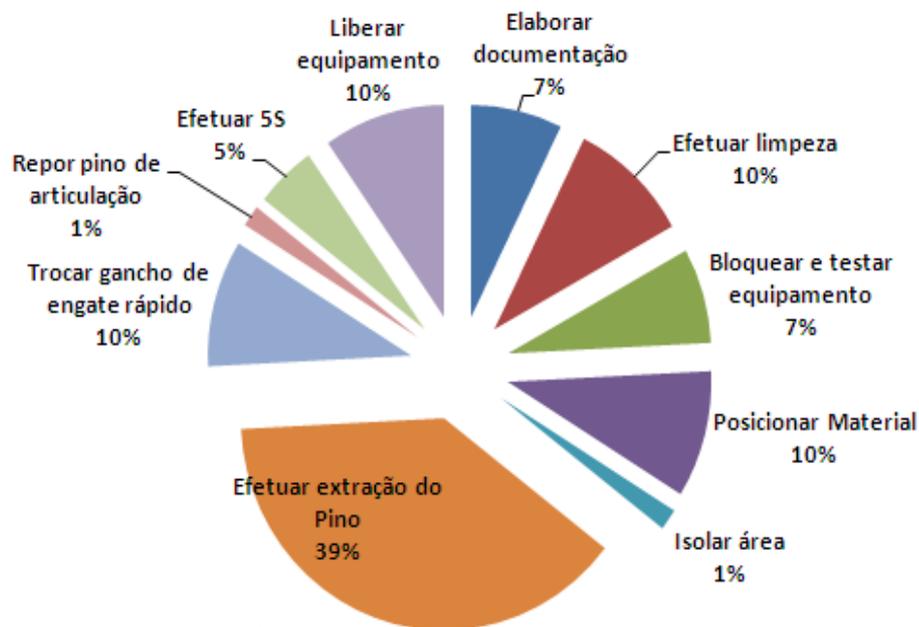
Tabela 2 – Horas Empregadas na troca do Engate Rápido

<b>TROCA DO ENGATE RÁPIDO</b>	
<b>Tarefa</b>	<b>Tempo (h)</b>
Elaborar documentação	0,75
Efetuar Limpeza	1,00
Bloquear e testar equipamento	0,75
Posicionar material	1,00
Isolar área	0,17
<b>Efetuar Extração do pino</b>	<b>4,00</b>
Trocar gancho de engate rápido	1,00
Repor pino de articulação	0,17

(Fábio, 2014)

Depois da estratificação da atividade de Troca de Gatos vista no gráfico 1, percebe-se que 39% do tempo total está concentrado na extração do pino. Foi feito um levantamento em relação ao ano de 2014 das trocas, onde foi constatado que ocorreram 31 trocas no ano.

Gráfico 1 - Estratificação das atividades da troca de pino



Fonte: (Norton, 2013)

Observasse no gráfico 2, há quantidade de troca unidade de atracação com seus respectivos pinos, tendo um acumulado de 31 trocas no ano de 2014.

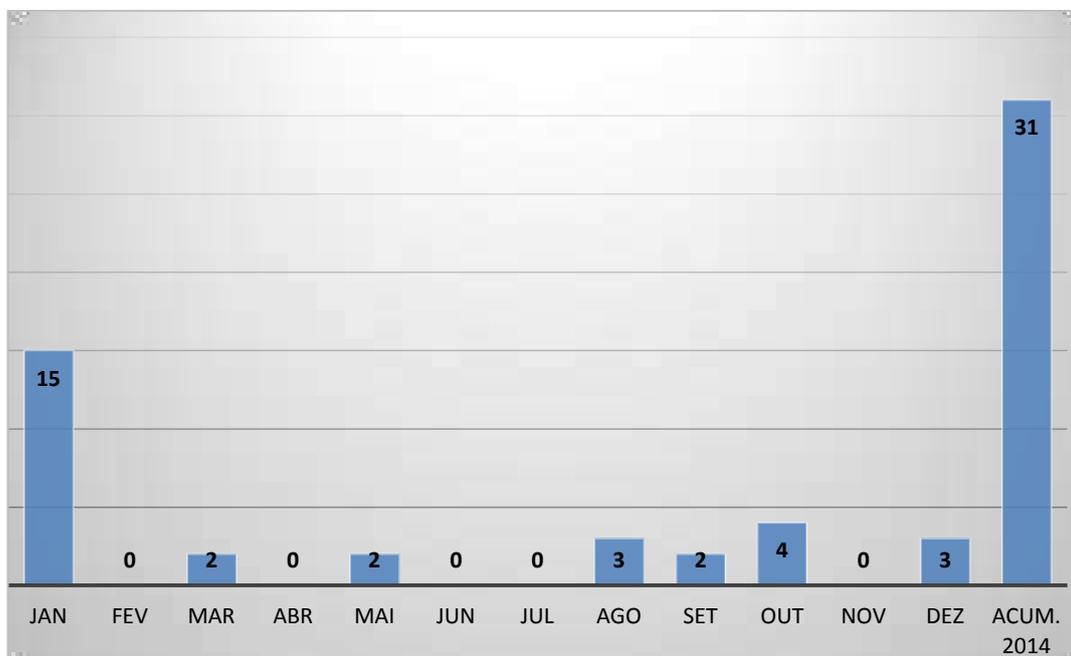


Gráfico 2 – Histórico de trocas de gato no ano 2014 (Máximo,2014)

A partir desse dado quantitativo das trocas do engate rápido, analisou as horas de manutenção nas unidades de atracação, gráfico - 3, que mostra um total de 124 horas/ano, dedicadas a tarefa de extração do pino de engate rápido, ou seja, o maior tempo da atividade estava ligada a um passo da tarefa, no que se refere as tarefas individuais. Daí a importância de diminuir este tempo de extração do pino.

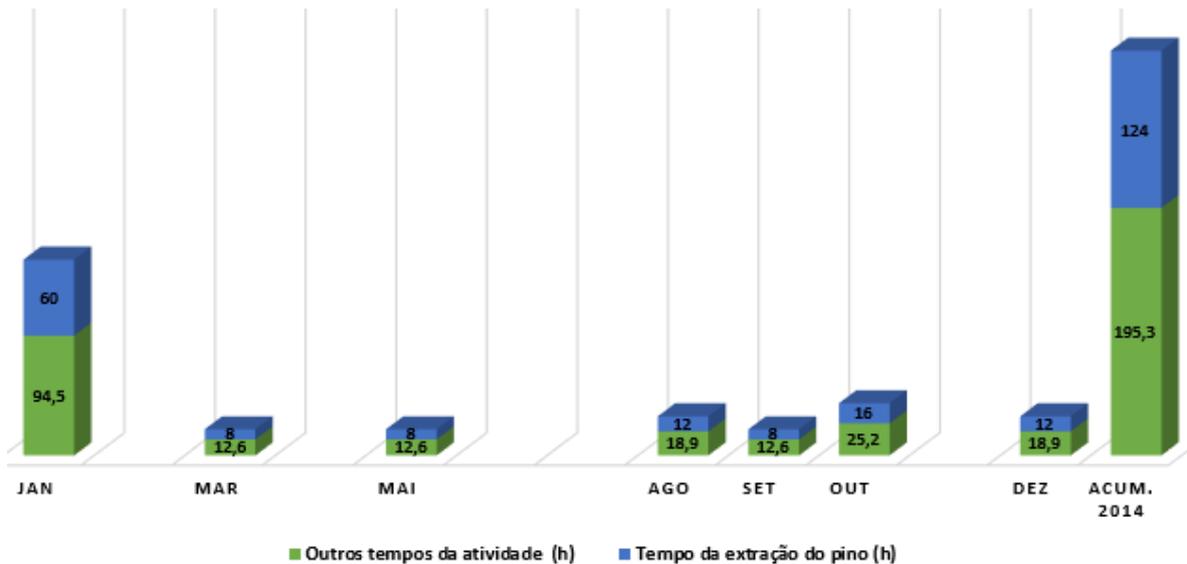


Gráfico 3 – Histórico em horas das trocas de gatos no ano 2014 (Máximo,2014)

Depois de analisar o tempo de demanda da atividade outro levantamento foi realizado, uma pesquisa de satisfação que colheu opiniões e insatisfações dos colaboradores. O que foi constatado certa insatisfação por parte dos executantes, devido à postura inadequada durante a extração dos pinos (Figura 7).



Figura 7- Postura inadequada dos colaboradores  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Uso de ferramentas improvisadas e que lhes ofereciam grandes riscos, como o uso de marreta de 5 kg (Figura 8) e o uso do oxiflame (Equipamento usado para perfurar peças de grande espessura, devido à sua alta velocidade de corte).



Figura 8 - Uso de marreta  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Com base no objetivo do projeto do dispositivo foram questionados os motivos pelos quais os problemas aconteciam e identificado as principais características que estavam atreladas. Depois de uma análise percebeu-se que o problema ocorre em todas as unidades de atracação dos píeres, em um total de 33.

A atividade de extração do pino com oxiflame gera diversos resíduos metálicos figura 9.



Figura 9 - Geração de resíduos  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Devido às unidades de atracação de navios estarem a beira mar, logo existe um alto grau de salitre, portanto o processo de corrosão é mais rápido, figura 10.



Figura 10 – Corrosão do pino  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

O ambiente é agressivo, devido à grande emissão de particulado (Poeira de minério de ferro), figura 11.



Figura 11 - Agressividade do ambiente  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Devido a ação do oxiflame o pino é cortado, fazendo com que o mesmo seja inutilizado para aplicações futuras, figura 12.



Figura 12 - Perda do pino pela ação do oxiflame  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

O pino estar com alto índice de corrosão, logo após a aplicação do oxiflame é necessário o uso de marreta e ferramentas manuais (talha), fazendo com que o colaborador faça esforços excessivos, figura 13.



Figura 13 - esforço excessivo  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Colaborador é forçado a trabalhar em postura inadequada o que lhe causará problemas ergonômicos, figura 14.



Figura 14 - Problemas ergonômicos  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Na extração do pino, o mesmo chega elevadas temperaturas, devido ao alto poder de corte do oxiflame e o derretimento do metal a ser extraído, tais fatores levam a um grande risco de explosão, figura 15.



Figura 15 - riscos de explosão  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

Foi analisado que no ano de 2014 houve 24 ocorrências de acidentes com prensamento de mãos e dedos, sendo que dos 24 foram 19 envolvendo empregados com menos de 1 ano de empresa, e que a atividades com movimentação de cargas, continuam sendo a atividade com mais acidentes envolvendo mãos e dedos. Relacionando as principais características do problema analisado de extração dos pinos, foi constatado que na classificação de risco pela equipe de saúde e segurança da empresa, que todos foram considerados em grau grave, ou seja, todos precisam ser tratados, por esse motivo houve a necessidade de se estabelecer uma meta específica para a solução desses problemas que foi a eliminação do uso do oxiflame e marreta na atividade de troca de gatos.

Tabela 3– Característica do Problema

CLASSIFICAÇÃO DO RISCO	GRAU
Esforço excessivo	GRAVE
Problemas ergonômicos	GRAVE
Riscos de explosão	GRAVE
Riscos de queimadura por oxiflame	GRAVE
Risco de prensamento de mãos e dedos	GRAVE

Fonte: Equipe de Segurança do trabalho 2014

## 5.2. Diagrama de Causa e Efeito

Depois de uma análise quantitativa, foi ponderado no diagrama causa e efeito (Figura 16), as principais causas relacionadas ao fato. Dentre elas foram selecionadas o uso de ferramentas de alto risco (oxi-flame e marreta), ausência de procedimento para realizar a atividade, posição ergonômica inadequada e corrosão do pino pela ação de intempéries do meio.



Figura 16 - Diagrama de Ishikawa  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

A influência dessas causas descritas na tabela 4, com o respectivo problema, sendo que ausência de procedimento para realizar a atividade foi considerada influente, pois, não é o fato da ausência do procedimento que dificulta a atividade, mas sim as ferramentas utilizadas.

Tabela – 4 Características do problema

CAUSA PROVÁVEL	INFLUÊNCIA	JUSTIFICATIVA
Uso de ferramentas de alto risco (oxi-flame e marreta)	Sim	Desgaste físico do executante e exposição ao risco queimaduras, esforço excessivo e prensamento de mãos e dedos.
Ausência de procedimento para realizar a atividade	Não	Não é a ausência do procedimento que dificulta a atividade, sim as ferramentas utilizadas.
Posição ergonômica inadequada	Sim	Devido manuseio de ferramentas impróprias e obsoletas.
Corrosão do pino pela ação de intempéries do meio	Sim	Com o pino travado, o tempo para extração é maior.

Fonte: (Equipe de Segurança, 2014)

### 5.3. Cálculo da Pressão de Montagem do Pino

O cálculo da pressão de montagem do pino com a equação 2, é o princípio, pois mostra qual a pressão necessária para que o pino seja inserido no cubo devido adotarmos uma certa interferência entre os mesmos.

- $\Delta r = 2,54 \times 10^{-2} \text{ mm}$
- $\delta = 2 \times \Delta r = 2 * 0,0254 \text{ mm} = 0,0508 \text{ mm}$
- $r_c = 47,48 \text{ mm}$
- $r_e = 47,5 \text{ mm}$
- $r_i = 0$
- $r_o = 60 \text{ mm}$
- $E_i = E_o = 200 * 10^2 \text{ N/mm}^2$
- $v_i = v_o = 0,32$

$$p = \frac{0,5 \times 0,0508}{\frac{47,48}{200 * 10^2} \times \left( \frac{60^2 + 47,48^2}{60^2 - 47,48^2} + 0,32 \right) + \frac{47,5}{200 * 10^2} \times \left( \frac{47,5^2 + 0^2}{47,5^2 - 0^2} + 0,32 \right)}$$

$$p = 17,84 \text{ N/mm}^2$$

Através dos cálculos de ajuste padrão foi encontrada a pressão de montagem do pino inserido no cubo, que foi de  $p = 17,84 \text{ N/mm}^2$ .

Com base no diâmetro onde a força será aplicada, que é de  $D = 83,64 \text{ mm}$ , encontramos a área de aplicação da força.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Leftrightarrow A = \frac{\pi \times (83,64)^2}{4} = 5494,37 \text{ mm}^2$$

Calculo da força necessária para montagem do pino no cubo.

$$F = p \times A \Leftrightarrow F = 17,8485 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 5494,37 \text{ mm}^2 = 98066,263 \text{ N}$$

Levando em consideração que 1 Kgf, corresponde a 9,80665 N, logo a força de montagem será de  $F = 9999,97 \text{ kgf}$ , adotado  $F = 10000 \text{ kgf}$  ou seja, deve ser utilizado um cilindro hidráulico de no máximo 10 toneladas com finalidade, a montagem e extração do pino do engate rápido.

### 5.3.1. Coeficiente de Segurança

Levando em consideração: Fator do tipo de material,  $a = 1,5$ , Fator do tipo de solicitação  $b = 1$ , Fator do tipo de Carga  $c = 1$ , Fator de Prevenção de Falhas de Fabricação  $d = 1$ , calcula-se o coeficiente de segurança com a equação 1.

$$s = a \times b \times c \times d$$

$$s = 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,5$$

O coeficiente de segurança do dispositivo corresponde a 1,5. Como a carga de extração do pino corresponde,  $F = 98100 N$ , portanto a carga que será adotado para estudo dos esforços será de  $148 KN$ .

#### 5.4. Dispositivo de Extração do Pino

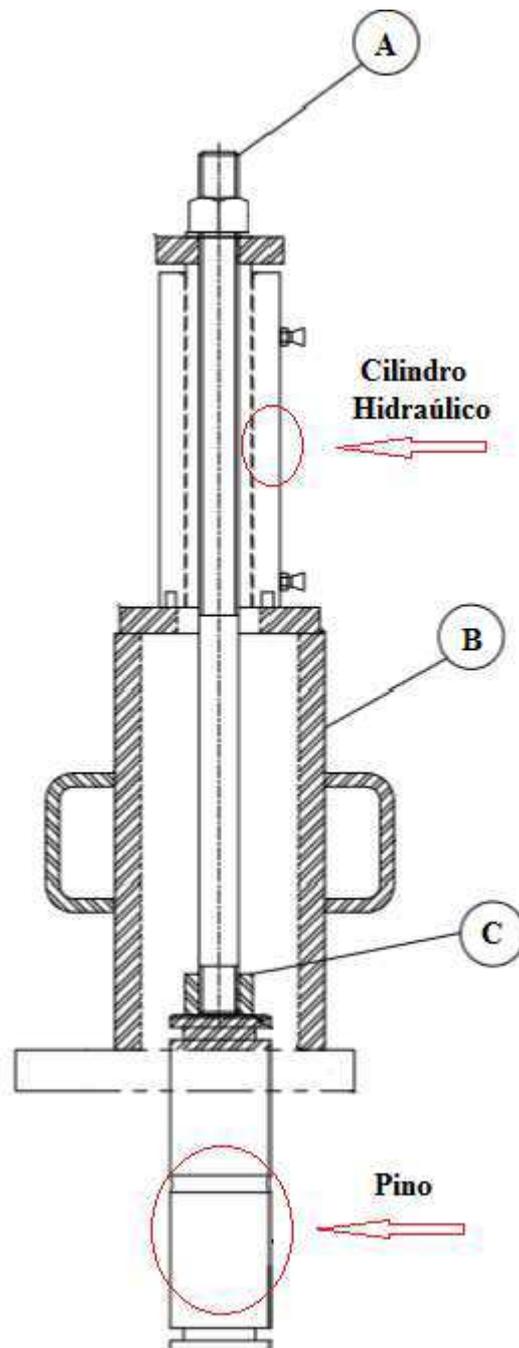


Figura 17 - Desenho 2 D do dispositivo de extração do pino  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

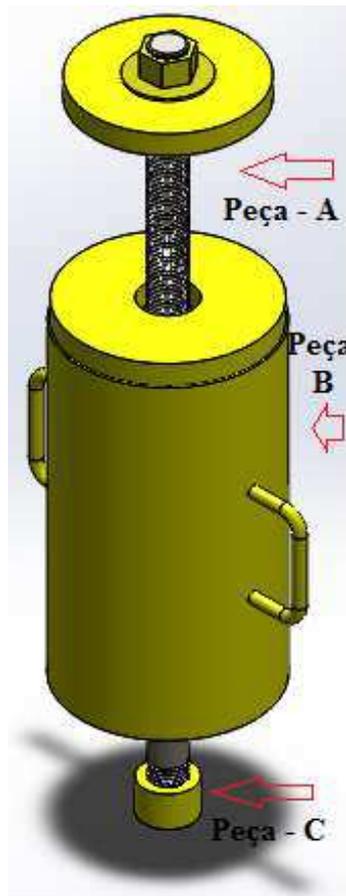
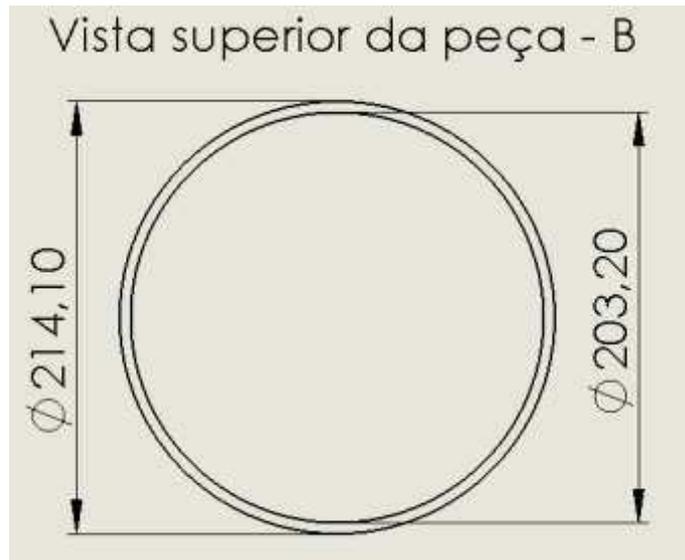


Figura 18 - Desenho 3 D do dispositivo de extração do pino (Solidworks)  
Fonte: (Fábio Sousa, 2014)

### 5.5. Cálculo dos Esforços da Peça B

Para o aço ASTM A-106, grau -A, seu limite de escoamento segundo Norton (2013), corresponde a  $\sigma_e = 207 \text{ Mpa}$ , logo é calculada a tensão admissível  $\sigma_{adm}$ , para o material em questão

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{F_s} = \frac{207 \text{ Mpa}}{1,5} = 138 \text{ Mpa}$$



A figura 19 - mostra o diâmetro em milímetros da peça - B  
(Fábio, 2014)

Após, obter a tensão admissível é calculado a área de aplicação da força  $A_p$ , com finalidade de encontra a tensão e o alongamento da peça - B

5.5.1. A área de aplicação da força ( $A_p$ ) é dado por

$$A_1 = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \times (214,1^2 - 203,2^2)}{4} = 3572,44 \text{ mm}^2$$

5.5.2. Cálculo da tensão no tubo

$$\sigma = \frac{F}{A_p} = \frac{148 \text{ KN}}{3572,44 \text{ mm}^2} = 41,42 \text{ Mpa}$$

5.5.3. Cálculo da deformação no tubo

$$\Delta l = \frac{F \times l}{A \times E}$$

$$\Delta l = \frac{F \times l}{A \times E} = \frac{148000 \times 400}{3572,44 \text{ mm}^2 \times 205 \times 10^3 \text{ Mpa}} = 0,08 \text{ mm}$$

Conclui-se que a máxima tensão admissível é de  $\sigma_{adm} = 138 \text{ Mpa}$ , para o tubo ASTM A- 106 e que a tensão máxima é de  $41,42 \text{ Mpa}$ , ou seja, o tubo suporta a carga empregada. E sua deformação devido à aplicação da carga é de  $0,08 \text{ mm}$ .

## 5.6. Simulação da Peça B

Os critérios adotados para a análise correspondem ao de deformação total e critério de falha de Von Misses, A condições de trabalho equivale ao uma carga a ser suportada de 10 Toneladas, com um fator de segurança: 1.5.

A figura 20, mostra a simulação realizada no inventor, que confirma que o tubo suporta a tensão de  $148 \text{ KN}$ , pois a máxima tensão descrita na simulação corresponde a  $40,68 \text{ Mpa}$ , valor aproximado do cálculo que foi de  $41,42 \text{ Mpa}$ , o confirma a veracidade das simulações.

Forças de compressão aplicadas na face superior. A estrutura simulada resistiu aos esforços apresentando deformação mínima, conforme figura 21, mostra a deformação do tubo que é de  $0,05 \text{ milímetros}$ . Portanto irrelevante, em sua estrutura na análise estrutural de deformação total.

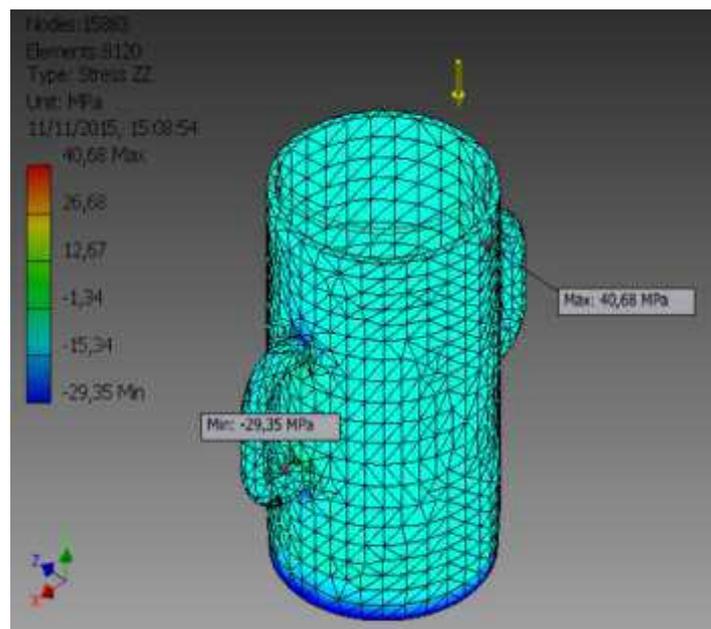


Figura 20 – Análise de compressão da peça - B, tensão em  $\text{Mpa}$   
Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

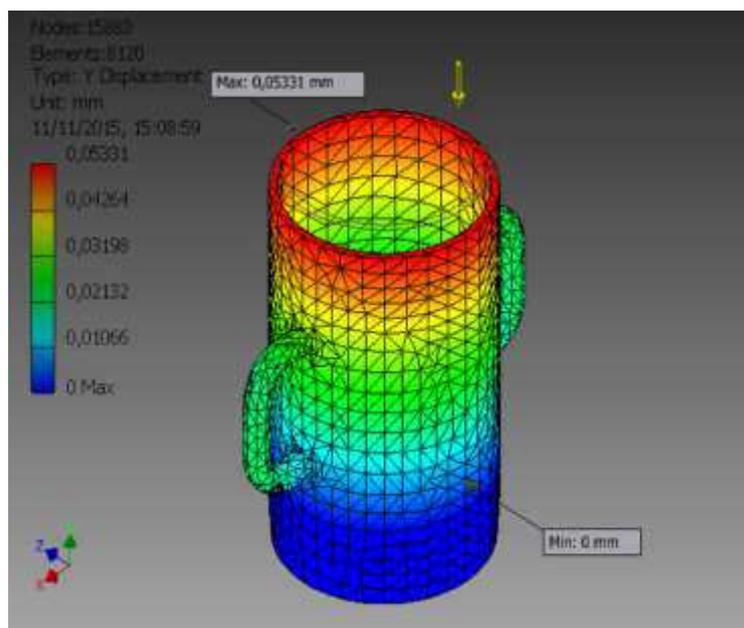


Figura 21– Deformação em milímetros da peça B  
 Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

Na tabela – 5, mostra a comparação entre os resultados analíticos e o de elementos finitos, com objetivo de provar que a peça – B, atende as especificações de projeto.

Tabela 5 – Análise entre as tensões e deformações

ANÁLISE	TENSÃO <i>Mpa</i>	DEFORMAÇÃO ( <i>mm</i> )
Analítico	41,42	0,08
Elementos Finitos	40,68	0,05

Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

Tabela 6 – Informações da malha.

Qualidade da malha	Alta
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha com base em curvatura
Nó	15883
Elementos	8120

Fonte: Fabio (2015)

### 5.6.1. Cálculo dos Esforços da Peça A

A peça - A, corresponde a uma barra circular M36, cujo material é um aço SAE 1045, de classe 8.8, segundo Norton (2013), o limite de escoamento é de  $\sigma_e = 660 \text{ Mpa}$ , portanto a tensão admissível:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{F_s} = \frac{660 \text{ Mpa}}{1,5} = 440 \text{ Mpa}$$

Levando em consideração que o parafuso prisioneiro possui diâmetro de  $36 \text{ mm}$ , logo sua área de aplicação da força é de  $A_p = 1017,87 \text{ mm}^2$ , por conseguinte a tensão de trabalho do dispositivo:

$$\sigma = \frac{F}{A_p} = \frac{148000 \text{ N}}{1017,87 \text{ mm}^2} = 145,40 \text{ Mpa}$$

Portanto a peça atende as especificações de projeto, pois a tensão admissível é de  $\sigma_{adm} = 440 \text{ Mpa}$ , e a tensão calculada é de  $145,40 \text{ Mpa}$ .

### 5.6.2. Deformação da Peça – A

Pode-se calcular o alongamento do parafuso pela seguinte expressão:

$$\Delta l = \frac{F \times l}{A \times E}$$
$$\Delta l = \frac{F \times l}{A \times E} = \frac{148000 \times 870}{1004,34 \times 200 \times 10^3 \text{ Mpa}} = 0,64 \text{ mm}$$

### 5.6.3. Simulação da Peça – A

A figura 22 mostra a simulação realizada no inventor, que confirma que a barra suporta a força de,  $148 \text{ KN}$ , pois a máxima tensão descrita na simulação corresponde a  $155,7 \text{ Mpa}$ , e a tensão admissível, é de  $\sigma_{adm} = 440 \text{ Mpa}$ .



Figura 22 – Análise de tração na barra, peça - A, tensão em *Mpa*  
Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

A figura 23 mostra a deformação da barra, peça – A, sua máxima deformação, corresponde a 0,6253 milímetros.

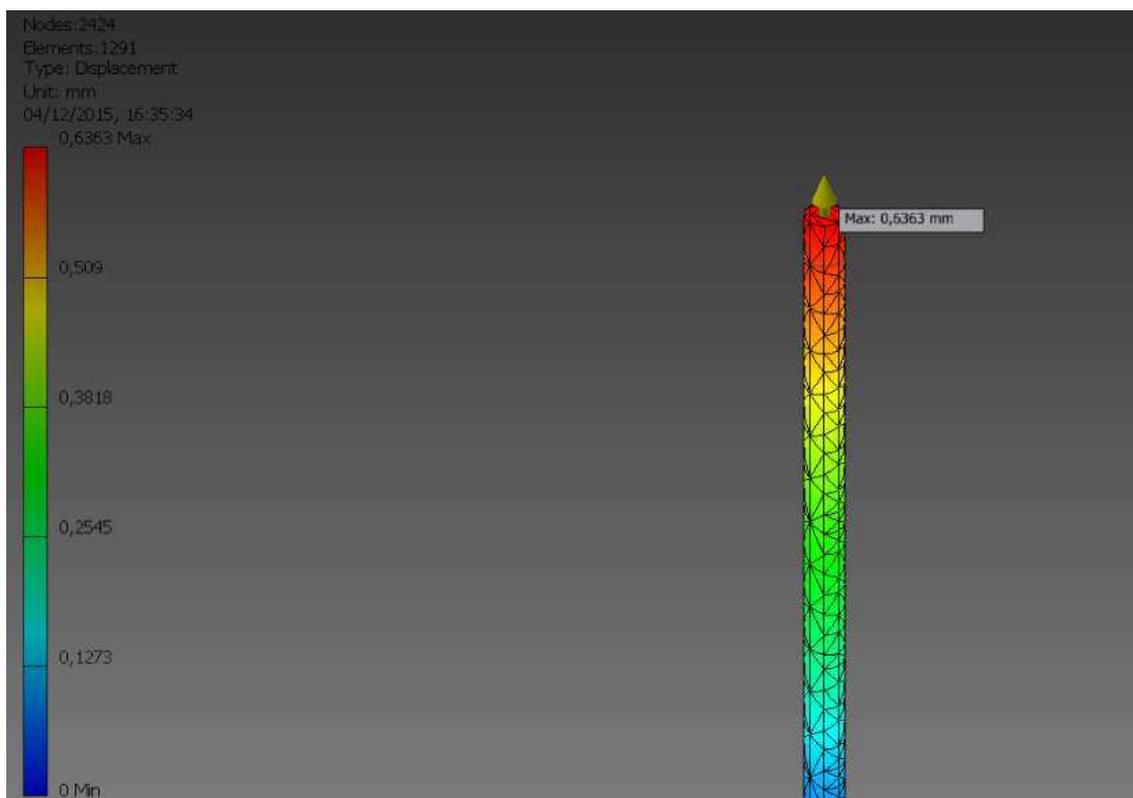


Figura 23 – Deformação em milímetros da peça - A  
 Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

A tabela 7 mostra a comparação entre os resultados analíticos e o de elementos finitos, com objetivo de provar que a peça – A, atende as especificações de projeto.

Tabela – 7, análise entre as tensões e deformações

ANÁLISE	TENSÃO <i>Mpa</i>	DEFORMAÇÃO ( <i>mm</i> )
Analítico	145,40	0,64
Elementos Finitos	155,7	0,6363

Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

Tabela 8, refere a informações da malha.

Qualidade da malha	Alta
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha com base em curvatura
Nó	2424
Elementos	1291

Fonte: Fabio (2015)

## 5.7. Resistência da Solda Peça – C

A figura 24 mostra a peça C em uma vista superior e seu respectivo diâmetro que será utilizado no cálculo para encontrar a área de cisalhamento do filete.

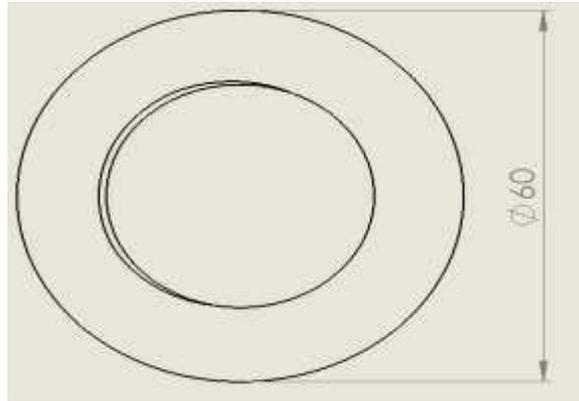


Figura 24, vista superior da peça – C  
Fonte: (Fabio Sousa, 2015)

A resistência da solda é calculada conforme NBR-8800.

$$L_w = \pi \times D = \pi \times 60 = 188,5 \text{ mm}$$

$$A_s = 666,34 \text{ mm}^2 \text{ área efetiva da solda. –}$$

s: filete de solda efetivo: 5 mm

Resistência mínima a tração do metal de solda 485 MPa, (49,46 kgf/mm<sup>2</sup>)  
para eletrodo E70XX

$$t = 0,707 \times s = 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm}$$

5.7.1. A área de cisalhamento do filete de solda é

$$A_s = 0,707 \times s \times L_w = 0,707 \times 5 \times 188,5 = 666,34 \text{ mm}^2$$

5.7.2. A tensão cisalhante média na garganta de solda pode ser calculada como:

$$\tau_w = \frac{P}{A_s} = \frac{148000}{666,34} = 222,10 \text{ Mpa}$$

Concluisse que a tensão cisalhante é menor que a resistência mínima a tração do metal de solda.  $222,10 \text{ Mpa} < 485 \text{ Mpa}$ , ou seja, a solda suporta os esforços.

#### 5.8. Cálculo da Tensão na Rosca do Parafuso - Peça – A

A seção 5.8, refere-se a tensão nas roscas do parafuso, com objetivo de prova analiticamente, que as roscas suportam a tensão.

##### 5.8.1. Diâmetro primitivo $d_p$ .

$$d_p = d - \frac{0,649519}{p} = 36 - \frac{0,649519}{4} = 35,83 \text{ mm}$$

##### 5.8.2. Diâmetro de raiz $d_r$ .

$$d_r = d - \frac{1,226869}{p} = 36 - \frac{1,226869}{4} = 35,69 \text{ mm}$$

##### 5.8.3. Área sobre tração.

$$A_t = \frac{\pi}{4} * \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{35,83 + 35,69}{2} \right)^2 = 1004,34 \text{ mm}^2$$

##### 5.8.4. Tensão de trabalho no parafuso.

$$\sigma = \frac{F}{A_t} = \frac{148000 \text{ N}}{1004,34 \text{ mm}^2} = 147,36 \text{ Mpa}$$

##### 5.8.5. Tensão admissível no parafuso.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{F_s} = \frac{660 \text{ Mpa}}{1,5} = 440 \text{ Mpa}$$

Segundo Norton (2013), levando em consideração, que o número da classe do parafuso é de 8,8, diâmetro 36 mm e a resistência mínima do escoamento é de 660 *Mpa*. E que a tensão admissível corresponde a 440 *Mpa*, logo o parafuso irá suportar a carga de 147,36 *Mpa*.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se a importância do uso das ferramentas da qualidade, para resolver diversos problemas na área de manutenção industrial. O PDCA teve um fator preponderante, para a resolução deste estudo de caso, pois pontua com clareza os efeitos causados pelo problema de extração dos pinos nas unidades de atracação dos navios do píer e propõe a solução que no caso, foi a elaboração de um dispositivo para extração do pino.

A partir da necessidade do dispositivo, surgiram diversos fatores para que o mesmo fosse projetado, o principal fator relevante, consiste em ter o conhecimento da pressão de montagem do pino e a tensões aplicadas em cada peça analisada.

Foi utilizado os softwares Autodesk INVENTOR 2015 e o SOLIDWORKS 2015, na modelagem do estudo de caso do trabalho, comparando os resultados dos cálculos analítico com o resultado dos cálculos fornecidos pelos softwares após ser inserido alguns dados no software. Após ser corrigido alguns parâmetros no inventor, em relação a malha, obteve resultados satisfatório para análise. O uso do software foi importante para a conclusão da análise das tensões e verificação da compatibilidade dos cálculos.

Concluí-se a partir de análises realizadas por elementos finitos, cálculos analíticos, que o dispositivo de extração de pino, suporta as cargas de projeto e que será eficiente na aplicação de extração do pino.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, Izildo ; FREIRE, Marcos A.C. **Elementos de Máquinas**. Freire Editora: Érica Ltda. 8ª edição – 2000.

**Curso de Elementos de Máquinas II**, 2002. Apostila do curso oferecido pela EMC/UFSC, Jan 2002. Elaborada pelo Professor Renan Brazalle.

**Curso de Elementos de Máquinas e Transmissões**, 2004. Apostila oferecida pela Universidade Luterana do Brasil, 2004. Elaborada pelo Professor Rafael Antônio Comparsi Laranja.

NORTON, Robert L.. **Projeto de Máquinas**. BOOKMAN EDITORA LTDA. 4º EDIÇÃO – 2013

SIGLEY, Joseph, E (Org.) et alii. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7º edição – 2005.

COLLINS, Jack A. **Projetos Mecânicos de Elementos de Máquinas**, Editora LTC-1ª edição-2006.

SOUSA, Salete de Oliveira Buffoni. **Resistência dos Materiais**. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/salete/res1/aula4.pdf>>Acessado em 25/04/2015

RAUL, Sturari. BRAINSTORMING, Política e Estratégia. Disponível em: <https://diegopiovesan.files.wordpress.com/2010/07/brainstorming.pdf>. Acessado em 14/07/2015

ALMEIDA, Ricardo. BRAINSTORMING. Disponível em: <http://www.ricardoalmeida.adm.br/brainstorming.pdf> . Acessado em 19/09/2015

BASTOS, Marcelo. MATRIZ GUT. Disponível em: <http://www.portal-administracao.com/2014/01/matriz-gut-conceito-e-aplicacao.html>>. Acessado em 29/09/2015

<<http://www.cedet.com.br/index.php?/O-que-e/Gestao-da-Qualidade/diagrama-de-causa-e-efeito.html>.> Acessado em 17/05/2015

<<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap10.pdf>.> Acessado em 15/04/2015

<<http://www.inf.ufes.br/~luciac/fem/livrosfem/ApostilaElementosFinitosNiCAE.pdf>.> Acessado em 30/10/2015