

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de Graduação II

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA IÇAMENTO E
MOVIMENTAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO**

Autor 1 – Wagner Henrique Franz
137176@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Márcio Walber
mwalber@upf.br

Comissão Examinadora – Ms. Guilherme Reschke do Nascimento e Ms. Jairo Machado

RESUMO

O processo de elevação e movimentação de chapas de aço é bastante comum nas indústrias metalomecânicas ou em diversas áreas de trabalho que necessitam e utilizam equipamentos para essa função, de acordo com o tamanho da carga ou peso exigido. Porém, a realidade é que muitas empresas não possuem equipamentos confiáveis para movimentação e içamento de cargas, ou pior, em algumas situações nem se quer dispõem de algum e esse processo é realizado manualmente podendo gerar acidentes e riscos ergonômicos aos operadores e de quem esteja em seu redor. Pensando nisso, o presente trabalho teve como objetivo projetar um equipamento tipo balancim de travessa para elevação e movimentação principalmente de chapas de aços já desbobinadas, onde toda carga suspensa ou transportada seja fixada adequadamente e não ultrapasse uma carga máxima de 5 toneladas. O balancim foi elaborado atendendo aos critérios de projeto da norma ABNT NBR 8400 (2019), revisado através de uma simulação numérica de elementos finitos, detalhamento 2D de seus componentes e por fim, expondo os custos envolvidos do projeto para sua fabricação.

Palavras chave: elevação; movimentação; chapas de aço; carga de 5 toneladas; ABNT NBR 8400.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais as indústrias competitivas no mercado de trabalho estão capitalizando seus recursos em equipamentos tecnológicos e eficazes que atendam e melhoram suas necessidades em busca de qualidade, buscando reduzir os tempos e custos operacionais.

Uma matéria-prima indispensável e necessária para as indústrias em geral são as chapas de aço, que possuem uma grande importância, benefícios e aplicações principalmente em setores das indústrias automotivas e metalmeccânica, indústrias na construção civil, na indústria naval e logística, nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, entre outros.

Segundo o Instituto Aço Brasil (2022), o consumo aparente de aços siderúrgicos processados no Brasil atingirá 23,3 milhões de toneladas. De acordo com a Norma brasileira NBR ABNT 6215 (2011), a definição de produtos siderúrgicos são chapas de qualquer natureza, bobinas de aço laminado e de cabos, tubos, perfis, barras e vergalhões e lingotes de qualquer natureza ou formato.

As chapas de aço possuem diferentes tamanhos e espessuras, as mais comuns comercializadas no mercado são as chapas grossas, normalmente fornecidas nas espessuras de 6,3 até 50mm, chapas finas com espessuras abaixo de 6,3mm, as chapas galvanizadas que possuem um processo de cobertura de zinco e outros metais e as chapas xadrez onde possuem um relevo em sua superfície.

Na grande maioria dos casos, toda matéria-prima como as chapas de aço ao chegar em um ambiente fabril são transportadas por meio de algum sistema mecanizado ou automatizado com o intuito de reduzir seu tempo de armazenagem e o esforço braçal dos funcionários. Um dispositivo bastante utilizado nesse contexto são as pontes rolantes, que possuem ganhos em produtividade e redução dos tempos de transporte logísticos internos, justificando o investimento de sua implantação.

Um componente utilizado em pontes rolantes para elevação e movimentação das chapas de aços nas direções vertical, longitudinal e transversal são as barras de cargas, mais conhecidas como balancim. É comum encontrar balancins com o aspecto duvidoso executando a elevação e movimentação de cargas em ambientes fabris, pois em algumas ocasiões, esses dispositivos são fabricados sem nenhum dimensionamento adequado ou nenhuma norma apropriada é empregada para sua fabricação.

Pensando nisso, o presente estudo tem como objetivo elaborar um projeto de um dispositivo tipo balancim para a elevação e movimentação das chapas de aços, onde o projeto vai atender aos critérios da norma NBR 8400 (2019) de fabricação e segurança, possibilitando sua fabricação considerando uma carga máxima de elevação e transporte de 5 toneladas.

1.1 Justificativa e descrição do problema

A justificativa para a realização do trabalho foi pensada para beneficiar empresas recém formadas que apresentam poucos recursos para investir em um dispositivo adequado e seguro de movimentação e içamento para chapas de aços desbobinas em especial ou algum outro tipo de material. Empresas principalmente do ramo metalmeccânico e agrícolas que gostariam de fabricar seu próprio dispositivo para reduzir seus custos e que necessitam diariamente do mesmo para realizar o deslocamento, gestão, processamento e armazenagem de matérias-primas.

1.2 Objetivo geral

Realizar o projeto detalhado de um dispositivo tipo balancim de travessa, onde sua principal função é o içamento e transporte de diferentes tipos de cargas com diferentes dimensões e formato.

1.3 Objetivos específicos

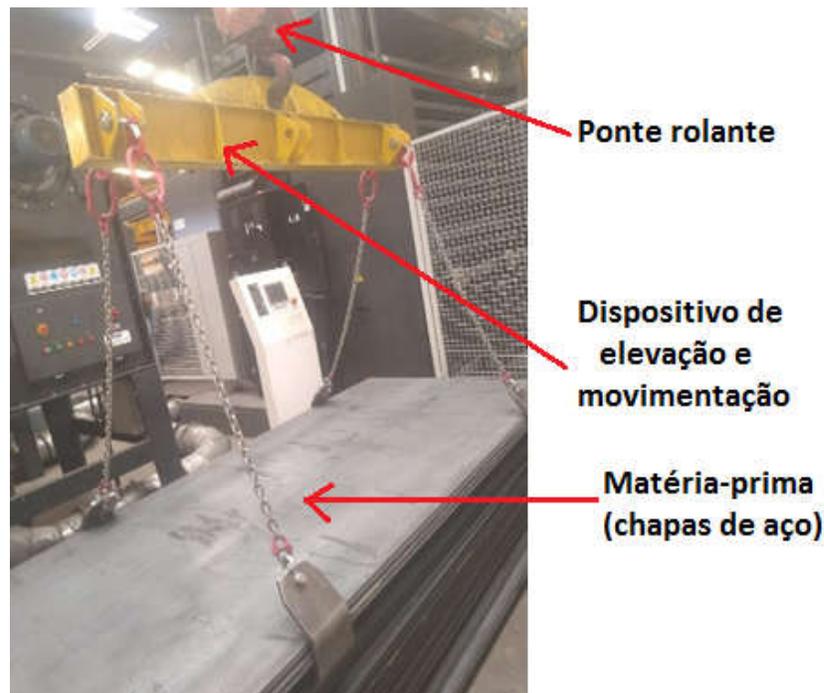
- Desenvolver o projeto de acordo com as normas reguladoras de segurança, equipamentos de elevação e movimentação de cargas;
- Calcular os parâmetros, dimensionar e determinar os componentes e equipamentos do dispositivo;
- Projetar, detalhar utilizando *software* CAD/CAE e realizar uma simulação estrutural de elementos finitos;

- Validar o projeto para sua fabricação de acordo com os procedimentos e normas abordados;
- Realizar uma estimativa de custos dos materiais e componentes do dispositivo, juntamente os custos para sua fabricação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os principais conceitos relacionados ao tema deste estudo são expostos nesse capítulo, que expõe os princípios da movimentação e elevação dos materiais representados na logística interna das indústrias, em especial na área metalmeccânica, os principais tipos de equipamentos para transporte de cargas, trabalhos realizados referente ao assunto, a metodologia utilizada para o desenvolvimento do produto, métodos de elementos finitos e a norma relacionada ao projeto. A Figura 1, apresenta um modelo semelhante ao projeto proposto nesse trabalho.

Figura 1 - Exemplo de ponte rolante com um dispositivo de elevação



Fonte: Autor

Conforme o exemplo mostrado na figura anterior, na qual é destacado um dispositivo de transporte para materiais em geral, nesse caso o dispositivo está sendo utilizado para movimentar chapas de aço já desbobinadas. Outro item destacado na figura é a utilização de uma ponte rolante que é um equipamento de elevação do tipo guindaste responsável por içar e movimentar produtos de médio e grande porte onde são bastante utilizadas em ambientes internos de empresas de diversos seguimentos.

2.1 Movimentação interna de materiais

A movimentação interna de materiais nas indústrias é a parte da logística que possui o objetivo da organização e o fluxo dos materiais. O tempo de deslocamento logístico interno é

um dos processos que possui as maiores perdas de tempo, por isso, o processo de implantação e investimentos para os meios de transporte logístico interno é fundamental que resultam em maiores ganhos de produtividade e lucros devido à redução de tempos de operação. A Figura 2 apresenta um ambiente fabril de materiais siderúrgicos onde seu principal equipamento logístico para realizar a movimentação e deslocamento da matéria-prima é uma ponte rolante composta por algum tipo especial de equipamento de elevação e movimentação de cargas.

Figura 2 - Exemplo de movimentação interna de materiais utilizando ponte rolante e um dispositivo especial



Fonte: Perfiminas (2022)

Segundo Rudenko (1976), todo o processo de produção de uma empresa, depende essencialmente de uma escolha racional dos tipos de máquinas de elevação e transporte, determinação correta de seus principais parâmetros e eficiente operação. Todo engenheiro deve, portanto, ter um completo conhecimento, bem como dos métodos de seus projetos e aplicação na prática.

No mercado atual existem vários equipamentos utilizados para a movimentação de cargas, dependendo sempre do tipo de trabalho exercido, onde os mais comuns são a ponte rolante, talhas, empilhadeiras elétricas, manuais ou a combustão, transpaleteiras manuais ou elétricas, pórticos, entre outros. Um dos equipamentos mais utilizados em empresas que movimentam materiais, cargas de diferentes tamanhos e pesos, matéria-prima, equipamentos especiais, são as pontes rolantes.

As pontes rolantes são equipamentos utilizados para movimentação e elevação principalmente de cargas pesas, utilizada em grande escala em portos de navios para o deslocamento dos contêineres, em indústrias metalmeccânica onde necessitam movimentar materiais, siderúrgicos entre outras. A redução do tempo de deslocamento de materiais, fácil operação, limitação do esforço braçal e segurança oferecida aos trabalhadores são algumas das vantagens que fazem da ponte rolante ser utilizada em grande escala globalmente.

Em conjunto com a ponte rolante e de acordo com cada tipo de aplicação, são utilizados diversos dispositivos especiais para a elevação e movimentação de cargas. A seguir são apresentados os principais tipos de dispositivos encontrados no mercado atual que possuem a função da fixação e também a sustentação das cargas movimentados por pontes rolantes. São esses modelos de dispositivos que auxiliaram como inspiração para o desenvolvimento do projeto proposto nesse trabalho.

2.2 Tipos de equipamentos para transporte de cargas

No mercado, existe uma grande variedade de modelos e equipamento de movimentação e elevação de cargas e a sua escolha requer não só o conhecimento especial do projeto e do fabricante, mas também a sua viabilidade e funcionabilidade no ambiente fabril onde será operado. Uma instalação de algum dispositivo de transporte, deve deslocar cargas para seu tempo programado e ser mecanizado ao máximo possível com o objetivo de empregar um pequeno número de trabalhadores para tal operação, manutenção e serviços auxiliares. Ao mesmo tempo esses dispositivos não devem danificar a carga transportada, atrapalhar ou impedir o processo de produção industrial, ou seja, deve ser uma operação segura e econômica, tanto que diz respeito ao capital investido e também o custo operacional (RUDENKO, 1976).

Os dispositivos de elevação e movimentação de carga também chamados de balancim, travessa de elevação ou cambão, em geral apresentam um tubo ou uma barra ou até mesmo um perfil I ou W, acompanhados com correntes e ganchos. São dispositivos que possuem as funções de fixar uma carga a um equipamento de elevação tipo ponte rolante ou guindastes e distribuir o peso içado para os pontos de fixação ampliando sua estabilidade e diminuindo as forças que são aplicadas no decorrer do içamento. A seguir são apresentados alguns tipos de dispositivos de elevação e movimentação encontrados no mercado atual.

2.2.1 Balancim tipo travessa

Os balancins tipo travessa são principalmente utilizados para o içamento e movimentação de diversos tamanhos e pesos de chapas já desbobinadas e também por diversas cargas de diferentes formas e dimensões. Seus ganchos de sustentação podem ser soldados ou fixados por pinos onde o içamento das cargas são por meio de correntes, cintas de poliéster, garras, levantadores magnéticos, cabos de aço, entre outros. A Figura 3, ilustra um exemplo do balancim tipo travessa içando chapas de aço, o projeto desse equipamento foi realizado pela empresa (MORELLO, 2022).

Figura 3 –Içamento de chapas com o balancim tipo travessa



Fonte: Morello (2022)

2.2.2 Balancim tipo C

A principal função do balancim tipo C além da elevação e movimentação para rolos de bobinas e arames é a sua excelente velocidade de armazenagem no estoque dos materiais. Em geral são suspensos por uma ponte rolante, mas podendo também ser içados em guindastes e

empilhadeiras devido ao seu ponto central de içamento do tipo olhal. A Figura 4, ilustra um exemplo de balancim do tipo C projetado por (MAX-CRENE, 2022).

Figura 4 – Balancim tipo C



Fonte: Max-Crane equipamentos industriais (2022)

2.2.3 Balancim com garras

Já a Figura 5, mostra um balancim com garras realizado pela MTC Brasil (2022), bastante utilizado para içamentos e movimentação de bobinas, se fixado e regulado de maneira correta de suas garras o mesmo poderá transportar diversos tipos de cargas proporcionando equilíbrio e distribuição de acordo com sua aplicação.

Figura 5 – Balancim com garras



Fonte: MTC Brasil (2022)

2.2.4 Balancim cruzado big bag

A Figura 6, apresenta balancim cruzado, projetado pela empresa IW8 (2022), responsável por içar, movimentar e armazenar variados tipos de sacos big-bag é de ágil mobilidade podendo ser transportado em empilhadeiras, guindastes, tratores e também em pontes rolantes.

Figura 6 - Balancim tipo big bag



Fonte: IW8 (2022)

2.2.5 Balancim para empilhadeira

O balancim de empilhadeira é um dispositivo que possibilita a movimentação e içamentos de cargas de maneira ágil e segura, pois sua fixação é por meio dos garfos de qualquer tipo de empilhadeira gerando maior estabilidade para carga facilitando seu operacional e maiores opções de manuseio devido ao gancho rotativo no seu centro. A Figura 7, apresenta um projeto realizado pela empresa Maqfort (2022), de um balancim tipo empilhadeira.

Figura 7 - Balancim tipo empilhadeira



Fonte: Maqfort (2022)

2.2.6 Balancim eletromagnético

Já os balancins eletromagnéticos ou eletropermanentes estão cada vez mais ganhando espaço em empresas com grande porte de movimentações e elevações de chapas, barras, tarugos, sucatas que apresentam material ferroso. Esse sistema eletromagnético otimiza o tempo de carga e descarga proporcionando o aumento em produtividade, conseqüentemente a redução dos custos de operação. Sua principal característica é que esse sistema não necessita de alimentação elétrica para se manterem magnetizados, ou seja, a carga não se solta em caso de corte de energia, garantindo uma segurança operacional, economia de energia e também possuem uma baixa manutenção. A Figura 8, apresenta um projeto da empresa Tecnomagnete (2022) de balancim eletromagnético de uma carga máxima de 30 toneladas.

Figura 8 - Balancim tipo eletromagnéticos



Fonte: Tecnomagnete (2022)

2.3 Trabalhos realizados referentes ao assunto

Para a execução do trabalho em questão, um dos objetivos foi buscar referências de mercado das empresas do ramo de equipamento para transporte de cargas e também em trabalhos acadêmicos que possuíam assuntos e projetos relacionados a elevação e movimentação de cargas, também foi realizada uma busca de patentes, mas não foi encontrado nenhuma patente relacionada a esse trabalho. Apresentado nos tópicos anteriores o item 2.2 (Tipos de equipamentos para transporte de carga), destaca os principais modelos comerciais de dispositivos semelhantes ao objetivo desse trabalho.

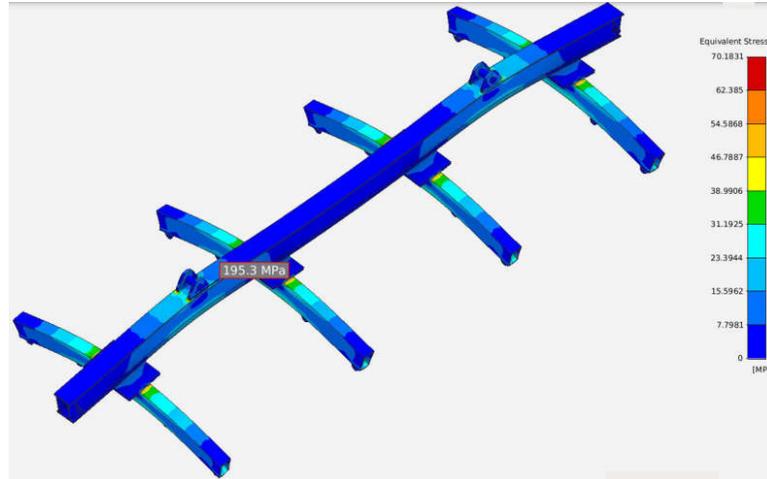
Os próximos tópicos, vão destacar três trabalhos acadêmicos de dispositivos e estruturas para içamentos e movimentações de cargas que tiveram influência para a elaboração, compreensão do tema, para execução desse trabalho.

2.3.1 Projeto e análise estrutural de uma barra de carga para uma oficina mecânica

O trabalho realizado por Neto (2018), tem como objetivo principal um projeto de uma barra de carga a ser instalado em uma oficina de manutenção. Neste projeto foram avaliados o material, o método de içamento das chapas e os acessórios da estrutura, buscando atender os requisitos do cliente. O modelo e resistência da estrutura, foi determinado através de cálculos da resistência dos materiais e da norma NBR 8400 – Cálculo de equipamentos para elevação e movimentação de carga. Por fim, foi realizado a simulações estruturais por elementos finitos,

executado pelo programa *ANSYS DISCOVERY AIM*. A seguir, é apresentada a Figura 9 o projeto realizado por (NETO, 2018).

Figura 9 - Panorama de distribuição de tensões de uma barra de carga

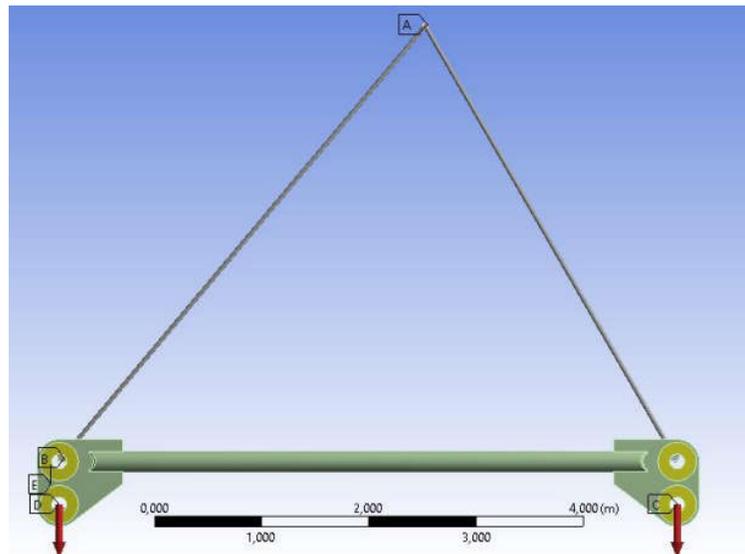


Fonte: Adaptado de Neto (2018)

2.3.2 Projeto de uma barra de separação para içamento

O projeto de Teixeira (2016), apresenta uma barra de separação para içamentos com capacidade para içar uma bobina de cabo umbilical de 279 toneladas, representada na Figura 10. Seu projeto é dividido em duas etapas, a primeira consiste na abordagem analítica para o dimensionamento da estrutura e dos olhais de içamento, na segunda etapa, é apresentado análises computacionais realizadas através de um *software* de elementos finitos. O projeto foi realizado através de normas técnicas internacionais e normas nacionais para os cálculos estruturais, olhais de içamento e operação para levantamento e movimentação de cargas.

Figura 10 - Desenho do projeto de uma barra para içamento

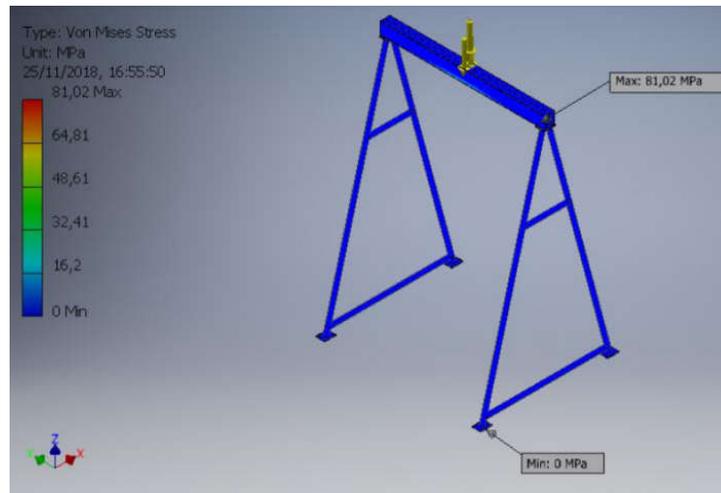


Fonte: Teixeira (2016)

2.3.3 Projeto de estrutura para içamento e carregamento de chapas de aço

Para Soares (2018), seu projeto teve como objetivo realizar uma estrutura para içamentos de chapas de aço de até 200kg a ser utilizada em um galpão industrial. Seu modelo de estrutura, foi dimensionado seguindo as restrições do cliente e aplicando-se seus conhecimentos de estruturas dos materiais e elementos de máquinas onde foi realizado simulações através do método de elemento finitos, neste caso foi utilizado a ferramenta computacional *Autodesk Inventor*. A Figura 11, destaca o projeto realizado por (SOARES, 2018).

Figura 11 - Vista de perspectiva e máximas e mínimas tensões da estrutura



Fonte: Adaptado de Soares (2018)

2.4 Metodologia de desenvolvimento de produto

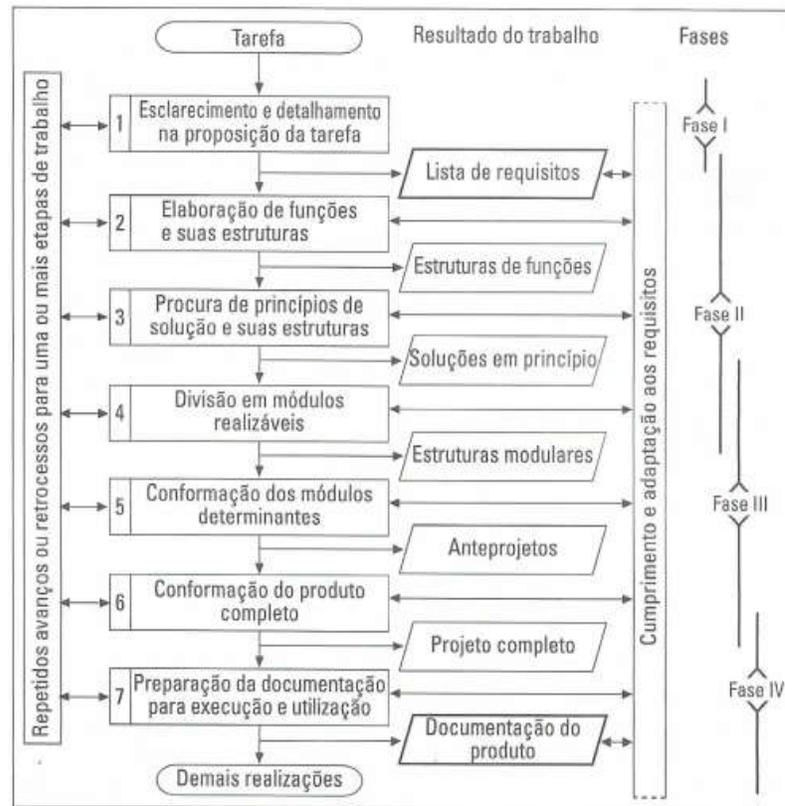
Toda e qualquer empresa tem o objetivo de crescimento e se manter competitivas no mercado de trabalho e o desenvolvimento de novos produtos e serviços é uma forma fundamental para que as empresas gerem lucros e receitas futuras. Para o desenvolvimento de novos produtos e serviços, é fundamental que se obtenha uma metodologia de projeto adequada desejando a potencialização de um novo produto do início até o final de seu desenvolvimento, atingindo suas propostas de gestão e exigências de mercado.

Uma metodologia muito utilizada para o desenvolvimento de novos produtos é a metodologia proposta por Pahl (2005), onde o mesmo propõe que devido à grande importância de desenvolver um produto no momento certo e despertar o interesse do mercado, é necessário um processo de criação de boas soluções que seja planejado, flexível, otimizável e verificável.

Para Pahl (2005), a metodologia de projeto é dividida em quatro etapas essenciais, sendo elas: Esclarecimento e definição da tarefa, projeto conceitual, metodologia para o anteprojeto e métodos para o detalhamento do projeto.

Para que o desenvolvimento de um novo produto obtenha um andamento promissor e resultados satisfatórios, é fundamental a execução das etapas citadas anteriormente. O fluxograma apresentado na Figura 12, às etapas são expostas de forma mais detalhadas, sendo assim, possível ajustar e organizar o planejamento ideal para o desenvolvimento de um produto.

Figura 12 - Fluxograma representativo de desenvolvimento do produto



Fonte: Pahl (2005)

Segundo Pahl (2005), a primeira fase é definida uma lista de requisitos como o custo, prazo, finalidade, demanda do produto e que essa lista deve estar sempre atualizada, pois é a partir dela que poderá decorrer a liberação para a conceituação e a liberação das próximas tarefas.

Após o esclarecimento da tarefa por meio de um detalhamento das principais questões, a segunda fase de desenvolvimento é responsável por determinar as funções e sub funções por meio de estudos de identificação do problema, conseqüentemente, os componentes da solução são listados. Nesta fase, os julgamentos são realizados principalmente com base em critérios técnicos, mas também são considerados com importância em termos de critérios econômicos (PAHL, 2005).

Na terceira fase de Pahl (2005), é a parte do projeto, que a partir da estrutura funcional ou solução preliminar, determina o layout estrutural de um produto respeitando critérios técnicos e econômicos. O anteprojeto é uma definição básica e quantitativa da solução baseada em conceitos quantitativos.

Por fim na quarta fase Pahl (2005), é a parte do projeto que finaliza a estrutura de construção de um produto técnico através das especificações finais quanto a forma, dimensionamento e acabamento superficial das peças, definição dos materiais e determinação precisa dos processos de fabricação, bem como os custos finais do projeto como um todo.

2.5 Simulação Estrutural

As técnicas de solução analítica são aplicadas normalmente em componentes de geometria simples como cilindros, prismas retangulares entre outras Norton (2013). Grande parte dos projetos estruturais possuem geometrias muito complexas para analisar sua solução no modelo analítico de solução matemáticas baseadas no entendimento das equações diferenciais representada a partir da resistência dos materiais. Utilizando um *software* que possibilita a simulação de equações diferenciais, o método de elementos finitos pode ser aplicado em qualquer modelo de geometria, simples ou complexas ou em inúmeros problemas de engenharia.

Para Azevedo (2003), o objetivo do método de elementos finitos MEF, conhecido também como análise de elementos finitos FEA (*Finite Elements Method*), é subdividir o domínio de um meio contínuo em elementos inferiores de geometria mais simples, ligados por pontos nodais formando elementos e uma malha, chamada de malha de elementos, com isso, realiza-se a discretização do domínio pretendendo facilitar uma solução.

Segundo Alves Filho (2018), as análises de elementos finitos são obtidas pelas etapas de: pré-processamento, realizada através da identificação das propriedades do material, as condições de contorno, o tipo de análise a ser feita, a escolha do modelo e dimensão dos elementos de malha, o processamento a análise que contém os cálculos matriciais e o pós-processamento para os cálculos serem interpretados e verificados.

A estrutura que será analisada através do *software* de MEF, é subdividida em números infinitos de elementos conectados por pontos, denominados nós, gerando assim uma malha de elementos. Essa malha é uma das propriedades principais que vem ser levada em consideração ao uma análise de MEF, pois ela determina o número e a distribuição de elementos que determina a precisão e o tempo de processamento de uma análise (Norton, 2013).

Já os elementos da malha, podem ser divididos em elementos unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, onde essa divisão vai definir a quantidade de graus de liberdade do elemento. Os elementos finitos lineares são utilizados em contornos retos e geometrias retas, já os elementos quadráticos e parabólicos são para contornos que apresentam curvas onde permitem melhores estimativas para as tensões, utilizados para geometrias mais complexas (Norton, 2013).

Após a geração da malha, as condições de contorno no componente são aplicadas, ou seja, os pontos de apoio e carregamento são definidos e por fim, a resolução da análise é realizada e os resultados como tensão, deformação e deslocamentos são verificados.

Diferentes teorias de falhas são consideradas para materiais frágeis e dúcteis. Um exemplo delas é a teoria de energia e distorção de Von Mises, na qual é amplamente utilizada em cálculos e simulações numéricas como o método de elementos finitos.

2.5.1 Teoria da energia de distorção de Von Mises

O equipamento relacionado a este trabalho é uma estrutura metálica de aço que apresenta materiais dúcteis, onde é comum aceitar o escoamento dos materiais como principal critério de falha para essa estrutura. A melhor teoria para materiais dúcteis que determina o início do escoamento dos materiais é a teoria de energia de distorção de Von Mises.

A teoria de Von Mises como menciona Sankar *et al.* (2011), um material dúctil irá escoar quando a energia de deformação específica de distorção alcançar um valor crítico para aquele material. Baseando nesse princípio, para um estado de tensões uniaxial, o valor crítico da energia de distorção pode ser obtido baseado no ensaio uniaxial, que no momento do

escoamento o estado de tensões em termos das tensões principais é representado por: $\sigma_1 = \sigma_y$ e $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

Nesse contexto, as tensões principais em um estado geral de tensões, a tensão de Von Mises pode ser definida pela seguinte Equação 1:

$$\sigma_{vM} \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Onde:

σ_{vM} : Tensão de Von Mises

Segundo Norton (2013), o critério de segurança de Von Mises é determinado entre a fração do limite de escoamento do material com a tensão calculada, o que resulta em um coeficiente ou fator de segurança expressado a seguir na Equação 2. Quando o valor de $n \leq 1$, ocorrerá a falha.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{vM}} \quad (2)$$

Onde:

n : Coeficiente de segurança.

S_y : Limite de escoamento do material

σ_{vM} : Tensão de Von Mises calculado

A avaliação do desempenho do referente projeto será analisada pelos critérios estabelecidos pela norma NBR 8400 (2019) e também por meio do método de elementos finitos, que levará em consideração à teoria da energia de distorção de Von Mises, onde será aplicado os carregamentos e as restrições de movimento do equipamento, definido o tipo e tamanho de malha, números de nós, gráficos de cores das tensões máximas e mínimas, os deslocamentos e o fator de segurança das principais tensões. Assuntos que serão vistos no decorrer dos capítulos 3 e 4.

2.6 Norma relacionada ao projeto – NBR 8400:2019

A principal norma relacionada ao projeto é a NBR 8400 (2019) – Equipamentos de elevação e movimentação de cargas, será a principal norma utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Esta norma nacional conduz as diretrizes básicas para os cálculos das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas independente do grau de complexidade ou do tipo de serviço do equipamento, determinando as solicitações e condições de solicitações, as resistências dos equipamentos entre outras.

A norma NBR 8400: (2019) é composta por cinco partes, são elas:

- Parte 1: Classificação e cargas sobre estruturas e mecanismos;
- Parte 2: Verificação das estruturas ao escoamento, fadiga e estabilidade;
- Parte 3: Verificação à fadiga e seleção de componentes dos mecanismos;
- Parte 4: Equipamento elétrico;
- Parte 5: Cargas para ensaio e tolerâncias de fabricação.

Os cálculos estruturais no projeto de estruturas devem ser considerados as tensões em um equipamento durante sua operação, onde essas tensões precisam ser calculadas com base nas seguintes solicitações NBR 8400 (ABNT 2019).

- As cargas principais atuantes devem sobre a estrutura do equipamento, presume-se que esteja parado, nas condições mais desfavoráveis de carregamento;
- Cargas devido aos movimentos verticais e horizontais;
- Cargas devido aos efeitos climáticos.

As principais classificações e solicitação referente a norma NBR 8400:2019 para realização do projeto em questão serão apresentadas no decorrer desse trabalho.

2.7 Considerações sobre a revisão bibliográfica

Em conclusão desse capítulo, podemos assegurar que a revisão bibliográfica auxilia como um fundamento teórico para um projeto ou pesquisa que deseja ser desenvolvida.

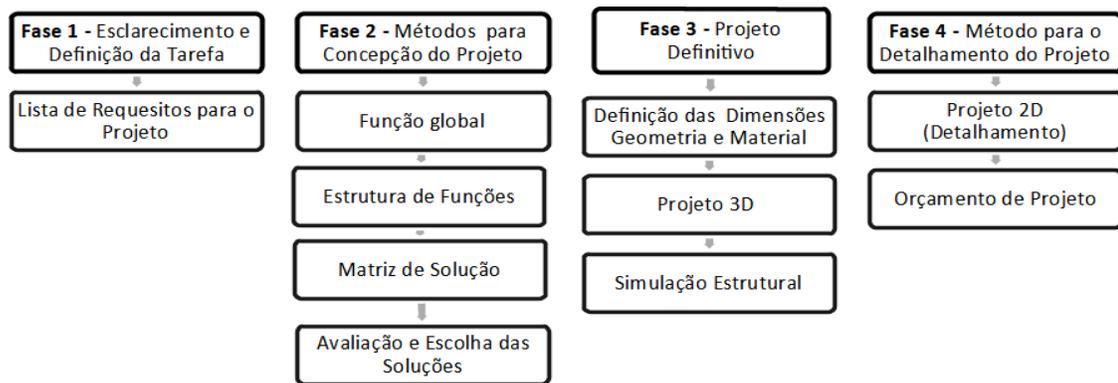
Baseado na metodologia criado por Pahl (2005), os próximos capítulos desse trabalho tem objetivo a apresentar os melhores caminhos para o desenvolvimento de um dispositivo de transferência de materiais como de chapas de aço, que atende as necessidades do mercado, privando a segurança e integridade dos operadores que vão utilizar esse equipamento.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentadas às quatro fases que estão representadas na Figura 13, onde cada uma das fases possuem etapas para a concepção e o desenvolvimento do projeto de um balancim de elevação e movimentação de chapas de aço, onde sua metodologia adotada é adaptada ao método de desenvolvimento sugerido por (PAHL, 2005).

Nas duas primeiras fases representam o planejamento, as análises de exigências do projeto conceitual e ao projeto preliminar. Baseadas nas etapas anteriores, na terceira e quarta fase, serão desenvolvidos o projeto 3D preliminar e os cálculos de dimensionamento pelo método analítico e pelo método de elementos finitos, se as análises tiver resultados satisfatórios o projeto será detalhado em desenho 2D e por fim, mensurado financeiramente.

Figura 13 - Etapas para o desenvolvimento do projeto Balancim



Fonte: Autor

3.1 Esclarecimento e definição da tarefa

Para que se inicie qualquer desenvolvimento de algum projeto é essencial apresentar a tarefa em seus principais detalhes. Nesta fase o objetivo é identificar as necessidades do projeto, buscando na literatura e nas necessidades diárias as prioridades que precisam ser atendidas para que o projeto obtenha resultados esperados.

Observando a dificuldade de muitas empresas por questões financeiras e técnicas, em adquirir ou fabricar algum tipo de dispositivo de elevação e movimentação de cargas, este projeto tem a finalidade de desenvolver um dispositivo de içar e movimentar principalmente chapas de aço já desbobinadas e também diversos tipos de materiais como fardos de tubos e madeiras. Um exemplo desse processo de movimentação e elevação de materiais está destacado na Figura 1, onde o objetivo do dispositivo de elevação é armazenar ou deslocar a matéria-prima no local desejado.

Aplicando como base o modelo de linha mestra indicado por Pahl (2005), foram considerados doze tópicos para produzir a lista de requisitos exposta no Quadro 1, onde suas características vão ser destacadas a seguir.

- **Geometria:** Tópico que apresenta as dimensões máximas de projeto desejadas para o equipamento, considerando que o objetivo é reduzir o máximo de seu peso;
- **Cinemática:** Determina os carregamentos/movimentos desejáveis do dispositivo e também apresenta as velocidades da ponte rolante utilizada para o seu deslocamento;
- **Forças:** Apresenta a carga máxima de elevação e translação que o dispositivo suportará e seu peso total desejado;
- **Material:** Destaca as características principais dos materiais e equipamentos utilizados para fabricação do dispositivo;
- **Segurança:** Determina fatores importantes necessários aos profissionais que realizaram esse tipo de função;
- **Ergonomia:** Tópico que apresenta aspectos importantes para a saúde e a integridade física dos colaboradores;

- **Montagem:** Especifica como deverá ser realizada a montagem da carga no dispositivo;
- **Operação:** Apresenta as condições ideais para a operação do dispositivo;
- **Produção:** Para evitar falhas, determina-se as características necessárias para executar a fabricação do dispositivo;
- **Manutenção:** Destaca as exigências futuras a serem tomadas para aumentar a vida útil do equipamento e segurança dos operadores;
- **Custos:** Deseja um custo acessível para o usuário;
- **Prazo:** Prevê a data desejada para a finalização do projeto.

Portanto foram avaliados no Quadro 1, a lista de requisitos, adequando as necessidades de atender melhor os resultados desejados do projeto com maior qualidade. A lista de requisitos é classificada pelas exigências e desejos, representados respectivamente pelas letras “E” ou “D”, onde a letra “E” deverá obrigatoriamente ser atendida pois será uma exigência do projeto, e a letra “D” não será obrigatoriamente ou será atendida conforme a evolução do projeto.

Quadro 1 - Lista de requisitos para o projeto do Balancim de Movimentação e Elevação de chapas de aço

Lista de Requisitos Balancim de Movimentação e Elevação de Chapas de Aço		E/D
1 - Geometria	Comprimento máximo do dispositivo: 3500 mm	D
	Largura do dispositivo: 200 até 300 mm	E
	Altura do dispositivo: 500 mm	E
	Comprimento das correntes: 1000 mm	D
2 - Cinemática	Carregamentos verticais	E
	Carregamentos horizontais	E
	Velocidade de elevação: 0,25 m/s	E
	Velocidade de translação: 0,25 m/s	E
3 - Forças	Capacidade máxima de elevação e translação: 5000 Kg	E
	Peso do máximo do dispositivo: até 300Kg	D
	Carregamento estático	E
4 - Material	Material de aço carbono estrutural e soldável	E
	Correntes de grau 8 ou grau10	D
	Ganhos fundidos soldáveis para sustentação das correntes	D
	Garras pega chapas RLC	E
	Revestimento para evitar desgastes (pintura)	E

Quadro 2 - Lista de requisitos para o projeto do Balancim de Movimentação e Elevação de chapas de aço (continuação)

Lista de Requisitos Balancim de Movimentação e Elevação de Chapas de Aço		E/D
5 - Segurança	Ser seguro e confiável aos operadores e para as pessoas em volta	E
	Necessita de profissionais capacitados e instruídos para a operação do equipamento	E
	Necessita de profissionais capacitados e instruídos para a operação de pontes rolante	E
6 - Ergonomia	Deslocamento e acionamento mecânico do dispositivo	E
	Conforto operacional, exigindo menores esforços aos usuários	D
	Não comprometer a postura do portador	D
7 - Montagem	Ser ágil e rápido para a movimentação e elevação de cargas	D
8 - Operação	Em ambiente fabril e coberto que apresenta condições meteorológicas adequadas e sem vento	E
9 - Produção	Desenhos detalhados contemplando cotas, soldagem, e especificações de projeto	D
10 - Manutenção	Inspeções visuais a cada 6 meses	E
	Prover reparos imediatos para itens danificados	E
11 - Custos	Custo máximo do dispositivo: R\$ 17.000,00	D
12 - Prazo	Entrega do projeto 23/06/2023	E

Fonte: Autor

Ao término da lista de requisitos do Quadro 1, avaliaram-se as condições necessárias e desejáveis para dar seguimento ao trabalho. A elaboração da lista de requisitos exige um certo bom senso, pois a mesma pode estar em constantes atualizações, mas precisa ter o mínimo de esclarecimento para que as exigências técnicas e econômicas poderão ser realizadas, pois só assim, poderá ser iniciado a concepção do projeto (PAHL, 2005).

3.2 Métodos para a concepção do produto

Esta etapa começa a determinação da concepção do projeto onde são determinadas a estrutura de funções, onde será determinado a função global e as funções primárias e secundárias, as quais necessitam ser aceitáveis e atender os pré-requisitos abordados na etapa anterior. Para Pahl (2005), após o esclarecimento do problema, realiza-se a procura de princípios funcionais adequados à solução de um projeto, bem como a sua combinação de diferentes variantes de solução que é efetuada com o objetivo de obter um conceito preliminar de solução. Resumindo, a concepção é uma definição introdutória de uma solução.

3.2.1 Estabelecimento da estrutura de funções

Nesta fase será elaborada a concepção da função global do equipamento, onde determina a função que espelha a correlação geral e objetiva entre a entrada e saída de um sistema. No centro da Figura 14, destaca o objetivo do produto que a movimentação de matéria-prima, onde a entrada é o manuseio e posicionamento do dispositivo na matéria-prima armazenada em seu ponto de origem e a saída que a atividade segura e ergonômica da matéria-prima em seu local de destino desejado pelo operador do equipamento.

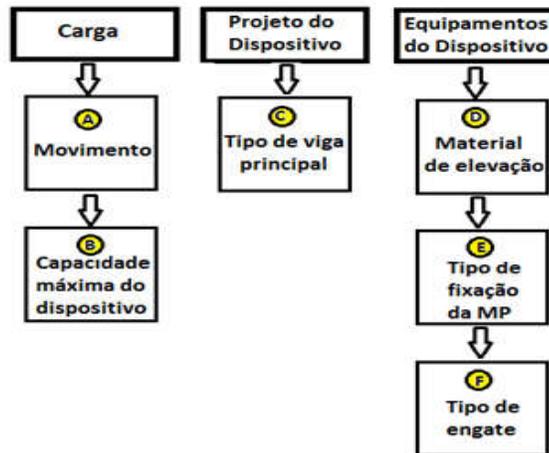
Figura 14 – Função global do projeto Balancim



Fonte: Autor

A Figura 15, representa a estrutura das subfunções primárias e secundárias do projeto, segundo Pahl (2005), quando o projeto contém certa complexidade, a função global deverá ser dividida em subfunções. Desse modo auxilia na busca de soluções e o projeto fica mais detalhado.

Figura 15 - Estrutura de subfunções primárias e secundárias do dispositivo



Fonte: Autor

Após definidas a função global e as subfunções primárias e secundárias do projeto, a seguir são detalhadas as 3 funções primárias que são as funções principais (Carga, projeto do dispositivo e equipamentos do dispositivo) responsáveis pela transmissão dos dados para a criação do projeto, com essas funções bem definidas, em seguida, são definidas as subfunções secundárias (letra A até F) que incluem as respostas das condições levantadas.

Funções primárias:

- **Carga:** O equipamento de movimentação e elevação de materiais em geral necessita a definição da carga máxima que o mesmo será suportado e os tipos de movimentos que ele será executado.

- **Projeto do dispositivo:** Para que a estrutura do equipamento se comporte de maneira segura e eficaz é necessária que o tipo de material, geometria e o tipo de fabricação do mesmo sejam bem definidas de acordo com a necessidade desejada.
- **Equipamentos do Dispositivo:** Outro fator importante a ser escolhido são os seus equipamentos de elevação e movimentação integrados ao dispositivo.

A seguir, são apresentadas as funções secundárias, onde seu objetivo é encontrar maiores definições e detalhes das funções primárias do projeto. As funções secundárias possuem subfunções que são apresentadas na matriz de solução destacada no Quadro 3, sendo que cada subfunções é escolhido apenas uma solução que é a mais coerente de acordo com as necessidades impostas na lista de requisitos referente ao projeto.

Funções secundárias:

A - Movimento: A escolha dos movimentos necessários para deslocar a matéria-prima de um determinado lugar para o outro com a ajuda do dispositivo de içamento e movimentação, são definidos nessa função secundária. Os movimentos principais necessários para que isso ocorra, é o movimento vertical para içar o material e o movimento horizontal para movimentar o material. Lembrando que o dispositivo em questão será fixado por uma ponte rolante.

B - Capacidade máxima do dispositivo: A definição da capacidade máxima suportada do dispositivo é fundamental para que os demais componentes da estrutura sejam escolhidos adequadamente. Com o intuito de projetar um dispositivo mais viável financeiramente e que seja bastante útil em empresas que utilizam dispositivos de carga e descarga de materiais, a carga escolhida para esse projeto será de 5 toneladas.

C - Tipo da viga principal: A geometria da viga principal do dispositivo será de formato de perfil W. Uma opção para a viga principal é fabricar as próprias peças e soldá-las no formato W, a outra opção será adquirir a viga comercialmente, ou seja, comprá-la compra nas dimensões exigidas para o projeto.

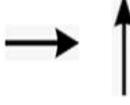
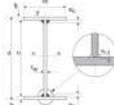
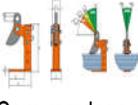
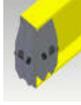
D - Material de elevação: O tipo e características dos acessórios que compõem o dispositivo são definidos nessa subfunção. Será determinado entre as correntes de grau 8 e 10, ou cintas de elevação e movimentação de cargas. Tanto as correntes como as cintas de elevação, são acessórios amplamente utilizados pelas indústrias em equipamentos de movimentação e içamentos de cargas.

E - Tipo de fixação da matéria-prima: Escolha do tipo de equipamento para a fixação da matéria-prima, nesse caso será levado em consideração às chapas de aço já desbobinadas com a dimensão de 6000mm de comprimento e 1200mm de largura, com camadas de chapas podendo chegar até 150mm de altura/espessura. Temos duas opções para o tipo de fixação, uma comercializada e a outra projetada. A opção comercializada, apresenta regulagem de altura e pode ser adquirida em qualquer empresa fornecedora de equipamentos de movimentação de cargas, já a outra opção projetada será de fabricação própria, onde a mesma pode ser cortada à laser e dobrada, com dimensões que possa ser encaixada em baixo e nas laterais dos fardos das chapas de aço.

F - Tipo de engate: Temos dois tipos de engate para os equipamentos como as correntes ou as cintas de içamento. Uma opção será projetar esse engate, soldando dois reforços nas laterais da viga principal e utilizando um pino de sustentação para as correntes ou cintas de içamentos. Já a outra opção de engate são os ganchos forjados que podem ser soldados na estrutura, essa opção comercializada, pode ser adquirida em qualquer empresa fornecedora de equipamentos de movimentação de cargas.

No Quadro 3, é representado a estrutura das subfunções primárias e secundárias do projeto, onde segundo Pahl (2005), quando o projeto contém uma certa complexidade a função global deverá ser dividida em subfunções. Desse modo, o projeto fica mais detalhado, os problemas encontrados ficam mais claros para serem resolvidos e apresentando menores chances de erros futuros.

Quadro 3 - Matriz de solução do Projeto Balancim

Subfunções	Solução 1	Solução 2	Solução 3
A - Movimento	 Horizontal	 Vertical	 Horizontal e Vertical
B - Capacidade Máxima do L	 5 Toneladas	 10 Toneladas	
C - Tipo de Viga Principal	 Soldada	 Sem Solda/Gerdau	
D - Material de Elevação	 Cintas	 Corrente Grau 8	 Corrente Grau 10
E - Tipo de Fixação da	 Com regulagem	 Projetado	
F - Tipo de Engate	 Gancho Aço Forjado	 Projetado	

Fonte: Autor

Apresentadas as subfunções no Quadro 3, o passo seguinte é escolher possíveis soluções para cada uma delas, nesse caso, será escolhido uma solução para cada subfunção. As soluções escolhidas são aquelas que melhor se atendem aos parâmetros de projeto, já as soluções não escolhidas ficam de segundo plano se houver alguma complicação com as soluções principais. A seleção das subfunções está representada no Quadro 4, onde os itens que atendem as especificações do projeto ganham o sinal positivo (+), já os itens que não atendem ganham o sinal negativo (-).

Para a escolha das soluções, foram levados em consideração os critérios a seguir:

- Satisfaz a lista de requisitos;
- Fácil fabricação ou compra;

- Segurança;
- Custo acessível.

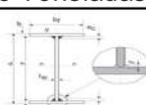
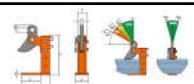
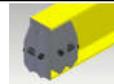
Quadro 4 - Avaliação e determinação da melhor solução

PROJETO DE UM DISPOSITIVO TIPO BALANCIM DE TRAVESSA PARA IÇAMENTO E MOVIMENTAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO							Lista de seleção para	
subfunções	soluções	Avaliar alternativas de soluções de acordo com os critérios de soluções:						Decidir
		(+) Sim						Simbologia das alternativas de solução: (+) Prosseguir com desenvolvimento do projeto (-) Descartar solução (?) Conseguir informações (!) Testar lista de requisitos
		(-) Não						
		SATISFAZ A LISTA DE REQUISITOS?						
		FABRICAR OU COMPRAR?						
		SEGURANÇA						
CUSTO ACESSÍVEL								
Observações (sugestões e justificativas)								
A	1	-	-	-	-	Seleção de movimentos que o dispositivo deve realizar	-	
A	2	-	-	-	-		-	
A	3	+	+	+	+		+	
B	1	+	+	+	+	Escolha da capacidade de carga do dispositivo	+	
B	2	-	+	+	-		-	
C	1	+	-	-	+	Opções de tipo da viga principal do dispositivo	-	
C	2	+	+	+	+		+	
D	1	+	+	-	+	Escolha do tipo de equipamento para suspensão da carga	-	
D	2	+	+	+	+		+	
D	3	+	+	+	-		-	
E	1	+	+	+	-	Seleção do tipo de pega chapa	-	
E	2	+	+	+	+		+	
F	1	+	+	+	+	Determinação do tipo de engate para os equipamentos de sustentação	+	
F	2	+	-	-	+		-	

Fonte: Autor

Após a realização da análise das soluções do Quadro 4, foram selecionadas as soluções que tiveram em seu somatório os resultados positivos e descartadas as soluções que tiveram um ou mais sinais negativos. Dessa forma, é definida no Quadro 5, a combinação de soluções que melhor atenderam aos critérios de projeto nos quais necessitam para chegar no produto desejado.

Quadro 5 - Variante selecionada para o Projeto Balancim

Subfunções	Solução 1	Solução 2	Solução 3
A - Movimento	 Horizontal	 Vertical	 Horizontal e Vertical
B - Capacidade Máxima do Dispositivo Balancim	 5 Toneladas	 10 Toneladas	
C - Tipo de Viga Principal	 Soldada	 Solda/Gerdau	
D - Material de Elevação	 Cintas	 Corrente Grau 8	 Corrente Grau 10
E - Tipo de Fixação da Matéria-Prima	 Com regulagem	 Projetado	
F - Tipo de Engate	 Gancho Aço Forjado	 Projetado	
VARIANTE IDEAL			

Fonte: Autor

Com os critérios estabelecidos, se determina a variante selecionada para dar sequência ao desenvolvimento de um conceito preliminar do projeto, onde na sequência será apresentado um esboço do equipamento proposto composto pelos principais itens predeterminados anteriormente.

3.2.2 Apresentação do projeto conceito

Baseado na metodologia adotada anteriormente, foram selecionadas os principais itens e necessidades que deram origem ao desenvolvimento do projeto conceitual. A seguir são destacadas essas subfunções e os motivos das quais foram escolhidas.

- **Movimento: Vertical e Horizontal** - Escolhido porque são os movimentos necessários para a movimentação das cargas içadas e movimentadas pelo dispositivo proposto. São os mesmos movimentos encontrados em uma ponte rolante, equipamento no qual foi escolhido para ser fixado o dispositivo projetado.

- **Capacidade máxima do Dispositivo: 5 Toneladas** - Devido ao custo de fabricação ser alto e boa parte das empresas operar com pontes rolantes abaixo de 10 toneladas, a opção da capacidade de 5 toneladas será mais vantajosa e mais viável para esse projeto.

- Tipo de Viga: **Sem Solda / Viga W** - A viga escolhida é de formato I, fabricada e vendida pronta, ou seja, não será necessário realizar corte e soldagem para a fabricação da viga principal do equipamento, e assim o custo de fabricação será menor. A viga W foi escolhida no catálogo da empresa GERDAL (2021), em destaque no Anexo 8.

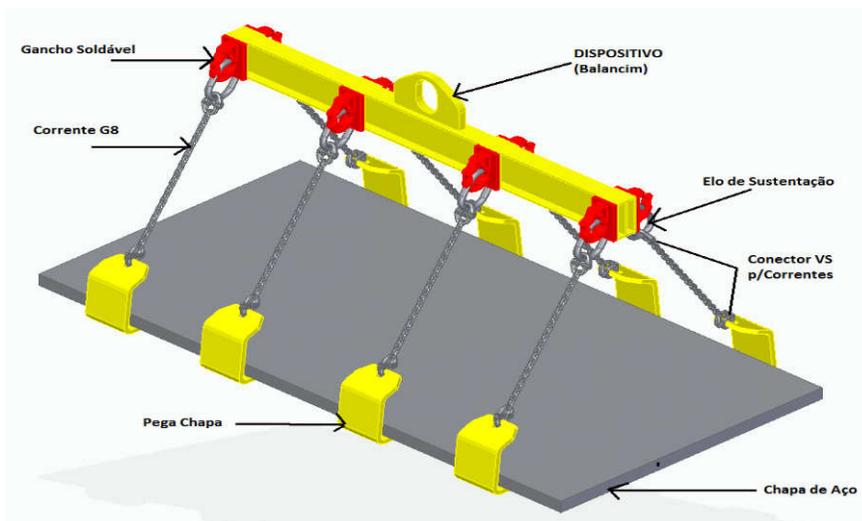
- Material de Elevação: **Corrente de Grau 8** – Escolhida a corrente de grau 8 devido a sua resistência que atendia a carga exigida pelo equipamento o que não exigira de uma corrente com o grau maior de resistência e também pela sua durabilidade comparada a uma sinta de poliéster. A corrente de grau 8 foi escolhida no catálogo da empresa Rud Correntes Brasil (2023), em destaque no Anexo 10.

- Pega Chapa: **Modelo Projetado** – No mercado há diversos modelos de pega chapas, mas devido ao custo elevado desse equipamento, o equipamento contará com um pega chapa de fabricação própria, ou seja, o mesmo será projetado, detalhado e fabricado de acordo com a carga exigida pelo equipamento, nesse caso são 5 toneladas.

- Tipo de Engate para as Correntes: **Gancho Soldável** – Apresentado no Quadro 3, havia dos modelos para o engate das correntes de sustentação. Um desses modelos era o engate projetado, no qual precisaria de dois reforços soldados e um pino usinado para engatar as correntes. Devido ao custo e fabricação das peças do modelo projetado, o modelo de engate tipo gancho soldável foi escolhido. O gancho soldável é encontrado em diversos mercados de equipamentos de elevação e movimentação de carga, seu material é de aço fundido e necessita apenas de soldagem para sua fixação no dispositivo. O gancho soldável foi escolhido no catálogo da empresa Rud Correntes Brasil (2023), em destaque no Anexo 11.

Desse modo, tornou-se possível a criação de um esboço conceito conforme mostra a Figura 16, que apresenta os principais componentes do dispositivo balancim.

Figura 16 - Conceito preliminar do dispositivo



Fonte: Autor

3.3 Seleção dos materiais para o projeto Balancim

Já pensando no desenvolvimento definitivo do projeto, vem junto à escolha correta dos materiais que o compõe. Foram escolhidos três tipos diferentes de materiais para as peças projetadas e utilizadas no balancim de travessa, os mesmos são listados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 – Materiais utilizados para o projeto balancim de travessa

Item	Tipo de Material	Limite de Escoamento (Mpa)	Limite de Resistência a Tração (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Poison	Massa específica (kg/mm ³) x10-6
Viga I (nº1)	ASTM A 572 Grau 50	345	450	200	0,3	7,85
Pega Chapa (nº2)	USI SAC 350	350	500 a 650	200	0,3	7,85
Engate da Ponte Rolante (nº3) Base Gancho Soldável (nº4) Reforço Gancho Soldável (nº5) Base 02 Gancho Soldável (nº12)	ASTM A-36	250	400 a 550	200	0,3	7,85

Fonte: Autor

O material escolhido para o perfil W e para os demais componentes são as aços ASTM A 572 Grau 50, USI SAC 350 e o aço ASTM A-36, esses materiais são conhecidos como aços estruturais utilizados em grande escala no ramo civil e mecânico. Materiais que além de suas resistências mecânicas, possuem uma ótima soldabilidade.

3.4 Considerações de projeto da norma ABNT NBR 8400:2019

Para o desenvolvimento do projeto balancim de travessa, utiliza-se como base a norma ABNT NBR 8400:2019 – Equipamentos de elevação e movimentação de carga, esta norma estabelece algumas restrições de projeto que precisam ser atendidas. A seguir serão apresentados os requisitos considerados para o dimensionamento e a fabricação do balancim de travessa que suportará uma carga máxima de 5 toneladas.

3.4.1 Classificação do equipamento de acordo com a norma

A norma estabelece os requisitos básicos que precisam ser definidos, um desses requisitos é a definição do grupo de equipamentos que o projeto se encontra. Para determinar o grupo que o balancim de travessa pertence, a seguir será apresentado a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de equipamentos em grupo

Tipo de equipamento		Detalhes relacionados a natureza do uso	Grupo do equipamento	Classe da elevação
Referência	Indicação			
1	Equipamentos operados manualmente	-	A1-A2	HC1
2	Equipamentos de montagem e desmontagem	-	A1-A2	HC1/HC2
3	Equipamentos para casa de força	-	A2 -A4	HC1
4	Equipamentos para oficina em geral			
5	Equipamentos industriais em geral	Gancho	A3-A5	HC2/HC3
6	Equipamentos para carregamento de fundição	Garra ou eletroimã	A6-A8	HC3/HC4
7	Equipamentos para manuseio de panela de metal líquido	-	A6-A8	HC2/HC3

Fonte: Adaptado NBR ABNT 8400 (2019)

Pelo fato de balancim de travessa ser utilizado principalmente em ambiente industrial, o grupo de equipamento considerado para realização dos cálculos da estrutura do balancim é o

grupo A3-A5, classe de elevação HC2/HC3, com a natureza do uso por gancho de uma ponte rolante.

3.4.2 Carregamentos considerados no projeto Balancim

Segundo a ABNT NBR 8400 (2019), as cargas principais são definidas pelo peso morto dos equipamentos e à carga devido à carga máxima de trabalho a ser utilizada na estrutura. As oscilações causadas pela elevação da carga devem ser levadas em consideração, multiplicando-se as cargas pelo fator denominado coeficiente de dinâmico ψ . A seguir, a Tabela 3, de acordo com a classe de elevação do equipamento, mostra alguns valores a serem considerados para obter o coeficiente dinâmico ψ .

Tabela 3 - Valores para determinar o coeficiente dinâmico ψ

Classe de elevação do equipamento	β_2	ψ_{min}
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

Fonte: Adaptado NBR ABNT 8400 (2019)

A Equação 3, mostra o fator de coeficiente dinâmico obtido nessa estrutura, considerando uma classe de elevação do equipamento HC3.

$$\begin{aligned}\psi &= \psi_{min} + \beta_2 \cdot V_h \\ \psi &= 1,15 + 0,51 \cdot 0,25 \\ \psi &= 1,27\end{aligned}\tag{3}$$

Onde ψ_{min} e β_2 são fornecidos pela Tabela 3, em função da classe de elevação HC3 e a variável V_h é a velocidade de elevação em regime constante, relacionada ao meio de içamento, expressada em metros por segundo (m/s). Neste caso o valor considerado para V_h é de 0,25 m/s, que corresponde a velocidade de içamento e movimentação da ponde rolante considerada para este projeto.

3.4.3 Casos de solicitação, coeficiente de segurança e tensão admissível da estrutura

A norma ABNT NBR 8400 (2019), considera três casos de solicitação que devem ser avaliados para efeito de dimensionamento da estrutura, são eles:

- Caso I: serviço normal sem vento;
- Caso 2: serviço normal com vento limite de serviço;
- Caso 3: solicitações excepcionais.

Para este projeto de estrutura balancim, será considerado o Caso 1: serviço normal sem vento, levando em consideração que o balancim esteja operando o interior de uma fábrica qualquer sem a presença de ventos ou efeitos climáticos que podem afetar sua estrutura.

Segundo a ABNT NBR 8400 (2019), determina que a tensão calculada σ não pode exercer a tensão admissível σ_a obtida ao dividir a tensão de escoamento σ_E pelo coeficiente v_E que depende do caso de solitação fornecidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Coeficiente de segurança em relação ao limite elástico

	Caso I	Caso II	Caso III
Valores de v_E	1,5	1,33	1,1
Valores de σ_a	$\sigma_E/1,5$	$\sigma_E/1,33$	$\sigma_E/1,1$

Fonte: Adaptado NBR ABNT 8400 (2019)

O valor v_E foi determinado para esse projeto referente ao Caso 1, por consequência, o coeficiente de segurança escolhido é de 1,5. Dessa forma, a norma ABNT NBR 8400 (2019) determina que a tensão admissível σ_a é definida por meio da Equação 4 apresentada a seguir.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_E}{1,5} \quad (4)$$

Onde:

σ_{adm} = tensão admissível

σ_e = tensão de escoamento do material

A norma também recomenda que a tensão de cisalhamento admissível seja calculada a seguir pela Equação 5.

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Onde:

τ_a = tensão admissível ao cisalhamento

σ_a = tensão admissível à tração

Segundo a mesma norma, para juntas soldas, pressupõe que o metal depositado tenha no mínimo características tão boas quanto o metal-base. Deve-se verificar se a tensão desenvolvida, em caso de tração longitudinal, não excede as tensões admissíveis σ_{adm} , fornecidas pela Equação 5. Para cisalhamento nas soldas, a tensão a admissível τ_a é fornecida a seguir pela Equação 6.

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

Na Tabela 5, são representados os valores a tensão admissível à tração (σ_a) de cada material utilizado para o projeto, juntamente com a tensão de cisalhamento (τ_a). Para calcular

a tensão admissível, foi considerado o Caso 1, com um coeficiente de segurança de 1.5, conforme destacado na Tabela 4.

Tabela 5 - Tensões admissíveis e cisalhantes dos materiais utilizado no projeto

<u>Equações</u>	<u>ASTM A 572</u> $\sigma_E = 345 \text{ MPa}$	<u>USI SAC 350</u> $\sigma_E = 350 \text{ MPa}$	<u>ASTM A 36</u> $\sigma_E = 250 \text{ MPa}$
$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_E}{1.5}$	$\sigma_a = 230 \text{ MPa}$	$\sigma_a = 233,3 \text{ MPa}$	$\sigma_a = 166,6 \text{ MPa}$
$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}}$	$\tau_a = 132,8 \text{ MPa}$	$\tau_a = 134,7 \text{ MPa}$	$\tau_a = 96,2 \text{ MPa}$
(juntas soldadas) $\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$	$\tau_a = 162,6 \text{ MPa}$	$\tau_a = 165 \text{ MPa}$	$\tau_a = 117,8 \text{ MPa}$

$\sigma_E = \text{Limite de Escoamento do Material (MPa)}$

Onde: $\sigma_{adm} = \text{Tensão Admissível à tração (MPa)}$
 $\tau_a = \text{Tensão Admissível de Cisalhante (MPa)}$

Fonte: Autor

Portanto, resolvendo as equações conforme apresentado na tabela anterior, foram determinadas as tensões admissíveis e as tensões de cisalhamento para os materiais e para as juntas soldadas utilizadas na estrutura balancim de travessa.

3.5 Determinação da Carga

Como o balancim é um equipamento de movimentação, a norma ABNT NBR 8400 (2019), estabelece que essas estruturas devem ser submetidas a testes dinâmicos na condição de uma sobrecarga antes que a estrutura entre em operação, onde a carga a ser considerada para testes deve ser de 20% maior que a carga nominal. Sendo assim, para efeitos de cálculos da estrutura balancim, será considerado a carga de testes (5000kg) multiplicado pelo coeficiente mecânico ($\psi=1,27$) encontrado na Equação 3, multiplicado por 1,2 (20%), multiplicando pela gravidade ($g=9,81 \text{ m/s}^2$). Denominaremos o resultado dessa carga de C_t , onde a mesma está representado a seguir na Equação 7.

$$c_t = (c_n \cdot 20\% \cdot \psi) \cdot g$$

$$c_t = (5000 \cdot 1,2 \cdot 1,27) \cdot 9,81 \quad (7)$$

$$c_t = 74752,2\text{N}$$

Onde:

- c_t = Carga total da estrutura (N)
- c_n = carga nominal da estrutura (N)
- Ψ = coeficiente dinâmico
- g = gravidade (m/s^2)

Após a determinação de um modelo estrutural para o balancim de travessa, juntamente com a determinação das tensões admissíveis da estrutura, o próximo capítulo será destinado a

apresentar os resultados da avaliação estrutural do projeto obtida através de um *software* de elementos finitos. Onde a carga principal a ser considerada na estrutura será de $c_t = 74752,2N$, obtida pela Equação 3.

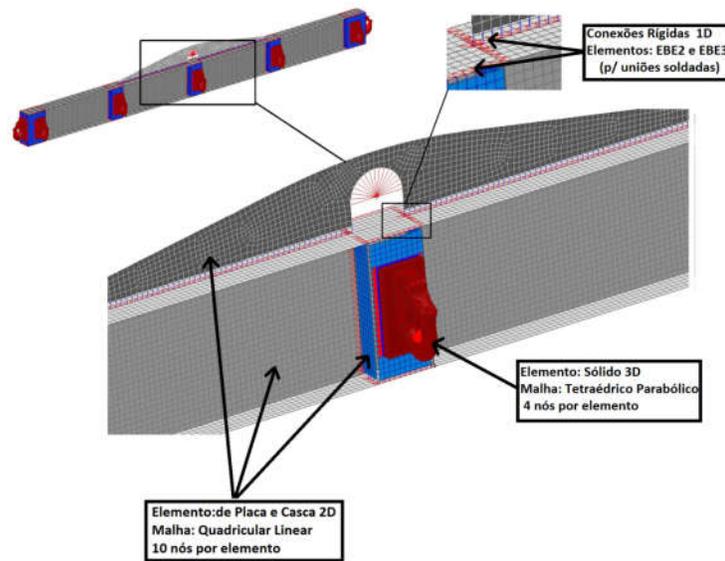
3.6 Considerações iniciais para análise de (MEF)

Para obter um dimensionamento analítico com precisão do projeto, torna-se necessário construir um modelo numérico para a estrutura e seus componentes e definir as cargas e as condições de restrições do projeto. A seguir, são apresentados a discretização, ou seja, tipos de malhas utilizados no projeto balancim de travessa e também as condições de contorno aplicadas.

3.6.1 Discretização do modelo

Para a discretização da estrutura, foi utilizado dois tipos de malhas. Por se tratar de um item fundido, os ganchos soldáveis, item 3 da Figura 20, foi utilizado um elemento sólido com uma malha tetraédrica parabólica, possuindo possui 4 nós por elemento a cada 2mm. Para o restante dos componentes da estrutura por serem chapas de aço, o elemento de placa e casca de malha quadricular linear foi escolhido, onde o mesmo possui 10 nós por elemento a cada 5mm. Nas regiões da estrutura unidas por solda, foi considerado conexões 1D rígidas entre nós e utilizados elementos do tipo RBE2 e RBE3. A Figura 17 destaca os elementos utilizados na estrutura balancim.

Figura 17 - Malhas geradas na estrutura

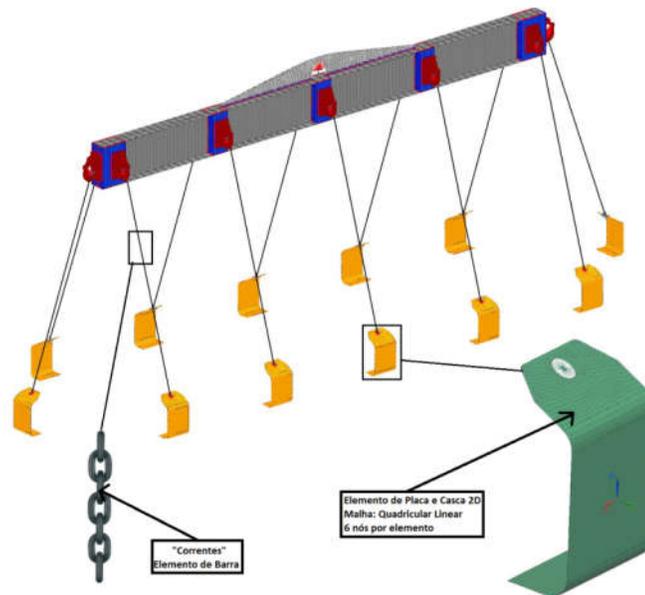


Fonte: Autor

A malha gerada para os “pega chapa”, item 02 da Figura 20, foi utilizado o elemento 2D de placa e casca de malha quadricular linear, onde o mesmo possui 06 nós por elemento a cada 3mm. Já para as correntes, foi utilizado o elemento de barra que nesse caso, só transmitirá carga axial por tração, ou seja, não irá receber flexão e nem torção.

Segue a seguir, a Figura 18 é possível observar a malha utilizada para esse componente do balancim.

Figura 18 - Malhas geradas para o componente projetado “pega chapa”



Fonte: Autor

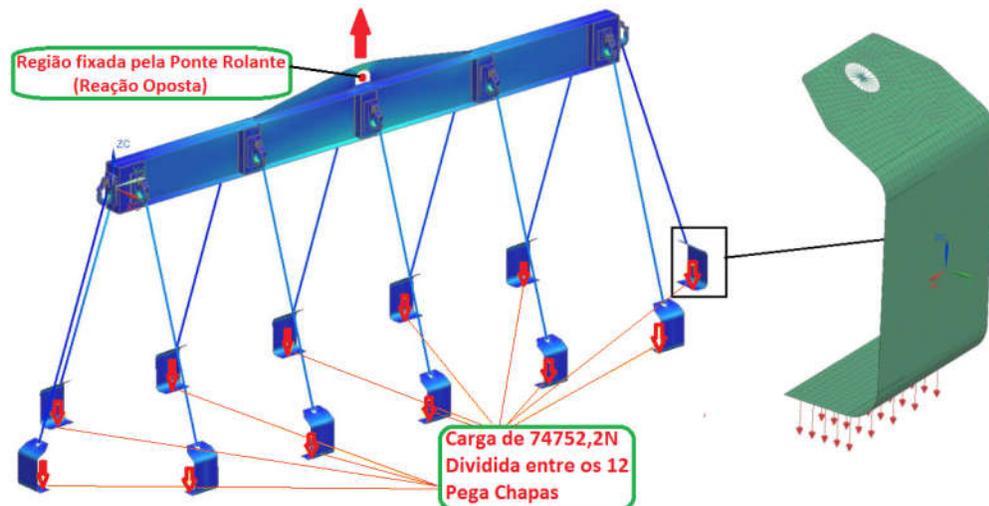
3.6.2 Condições de contorno

Determinar as condições e restrições da estrutura projetada é necessário para obter um projeto aproximado da realidade desejada e também para minimizar a quantidade de variáveis do cálculo numérico de elementos finitos.

Para a realização da análise de elementos finitos, conforme a Figura 19, a restrição de fixação do balancim, se dá por meio da peça “Engate da Ponte Rolante”, item 03 do desenho na Figura 20 e a força total aplicada na estrutura de 74752,2 N é distribuída entre os doze “Pega Chapa” também destacados na Figura 19.

A posição dos “Pega Chapa”, item 02 da Figura 20, está entre uma dimensão representativa (chapa de aço) de 6000x1200mm, e fixado pelas correntes, formando um ângulo em relação ao centro do balancim. A Figura 19 demonstra a aplicação das forças atuantes na estrutura juntamente com o ponto de reação oposta a carga.

Figura 19 - Posições das cargas aplicadas na estrutura e a reação oposta



Fonte: Autor

Na estrutura representada anteriormente, foi realizado uma discretização para esse modelo de 1388624 nós 242840 elementos. Com os requisitos de projeto definidos, as restrições de projeto atendidas, e as condições de contorno estabelecidas para a análise de elementos finitos, o próximo capítulo apresentará os resultados da simulação numérica do modelo definitivo da estrutura e a estimativa de custos de fabricação para o balancim de travessa para o içamento e movimentação de chapas de aço ou cargas de até 5 toneladas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

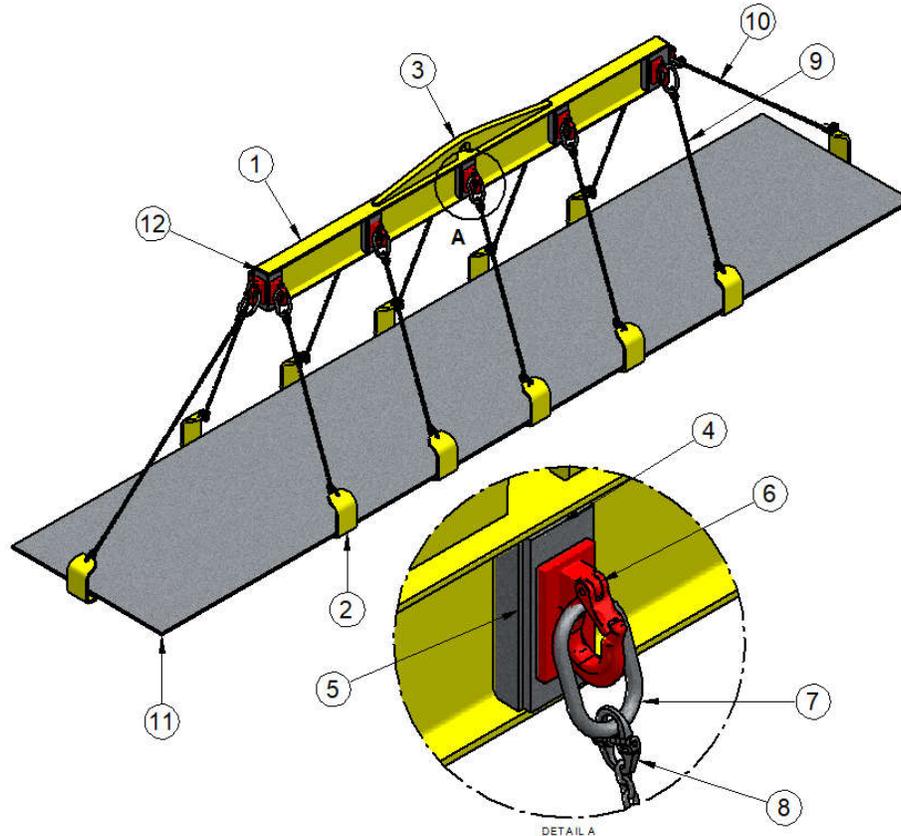
Nesta seção é apresentado o modelo definitivo do projeto balancim, os resultados obtidos pelas análises numéricas realizadas pelo método dos elementos finitos, visto que os dados de entrada e as considerações para a análise estrutural foram determinados no capítulo anterior. Além disso, será apresentado uma estimativa de custos de fabricação do projeto em questão.

4.1 Elaboração do projeto definitivo

Posteriormente ao conceito do projeto representado na Figura 16, juntamente com os requisitos de projeto estabelecidos no Quadro 1, foi executado através do *software* 3D, o projeto definitivo do dispositivo balancim de travessa. A definição do modelo do balancim, foi construído a partir de um conceito representado na Figura 3, representada no capítulo 2, onde o modelo de balancim é do tipo travessa, em que sua carga içada e movimentada é suspensa através de correntes ou cintas de elevação presas por ganchos soldados na estrutura. No qual, o balancim é içado e movimentado de acordo com a velocidade imposta pela ponte rolante.

Em seguida, a Figura 20 representa o modelo final do conjunto balancim de travessa, onde os principais itens com suas respectivas quantidades são identificados. Nota-se que o item 11 do desenho é uma chapa de aço (6000x1200mm) que está representando a posição correta das correntes e seus componentes.

Figura 20 - Projeto Balancim 5 Toneladas e seus componentes



Fonte: Autor

1. Viga Principal GERDAL_W 250x28,4;
2. Pega Chapa (12x);
3. Engate Ponte Rolante;
4. Base Gancho Soldável (10x);
5. Reforço Gancho Soldável (16x);
6. Gancho Soldável RUD_GSH-S – 10 (12x);
7. Elo de Sustentação RUD_ES18 (12x);
8. Conector VS RUD_VS-10 (24x);
9. Corrente 01 Grau 8 RUD_10x30x1030 (10x);
10. Corrente 02 Grau 8 RUD_10x30x1560 (2x);
11. Chapa de Aço Modelo 6000x1200;
12. Base 02 Gancho Soldável (2x).

O projeto do balancim é composto pelos itens citados anteriormente, sua viga principal (nº1) de formato I pode ser adquirida no catálogo da empresa GERDAL (2021), o pega chapas (nº2) é um modelo projetado, assim como os itens (nº3), (nº4), (nº5) e (nº12). Já os itens (nº6), (nº7), (nº8), (nº9) e (nº10), podem ser adquiridos no catálogo da empresa RUD Correntes Brasil (RUD, 2023). Todos os itens compostos no projeto balancim estão desenhados e detalhados nos anexos desse trabalho, os custos de cada item e o custo total do balancim estão representados no próximo capítulo no Quadro 6.

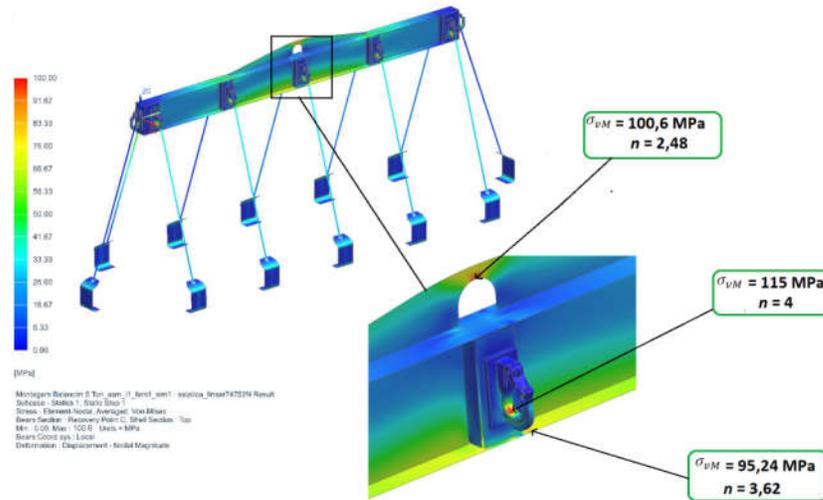
4.2 Análise de elementos finitos

As análises do desempenho estrutural do balancim de travessa, é realizada através do método dos elementos finitos (MEF), onde o *software CAD* a ser utilizado é o *Sincenter 3D* e o programa de análise numérica é o *NASTRAN*. Será simulando uniformemente na estrutura uma carga total de $c_t = 74752,2N$, verificando os pontos de tensões máximas e mínimas, calculando o fator de segurança para o carregamento estático da estrutura, e analisando o deslocamento máximo do balancim.

4.2.1 Tensões de Von Mises da estrutura Balancim

A Figura 21, apresenta os resultados das análises estáticas das tensões de Von Mises (σ_{VM}), calculada pela Equação 1, nos pontos mais críticos encontrado na estrutura, juntamente com o fator de segurança n , calculado pela Equação 2.

Figura 21 - Máximas tensões atuantes na estrutura



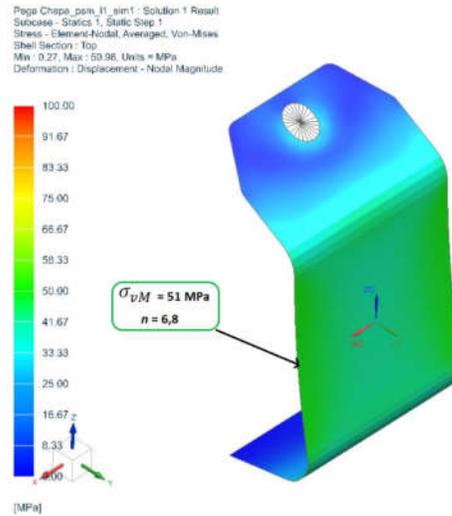
Fonte: Autor

Conforme identificado na figura anterior, as três tensões máximas identificadas de Von Mises para uma carga de $c_t = 74752,2N$, estão abaixo da tensão máxima admissível $\sigma_{adm} = 233,3MPa$, dos materiais representados na Tabela 5. Segundo a norma ABNT NBR 8400 (2019), o coeficiente de segurança estabelecido é de 1,5, assim, todas as tensões máximas estão com um coeficiente de segurança que atendem dentro do esperado a norma e também ao critério de falha estática de Von Mises.

4.2.2 Tensões de Von Mises do Pega Chapa projetado

Já na Figura 22, é representado a tensão máxima de Von Mises para o “pega chapa”. No total são 12 unidades do pega chapa para fixação e movimentação das chapas de aço, ou seja, a carga total $c_t = 74752,2N$ será dividida por 12.

Figura 22 - Tensão máxima atuante para o “pega chapa”



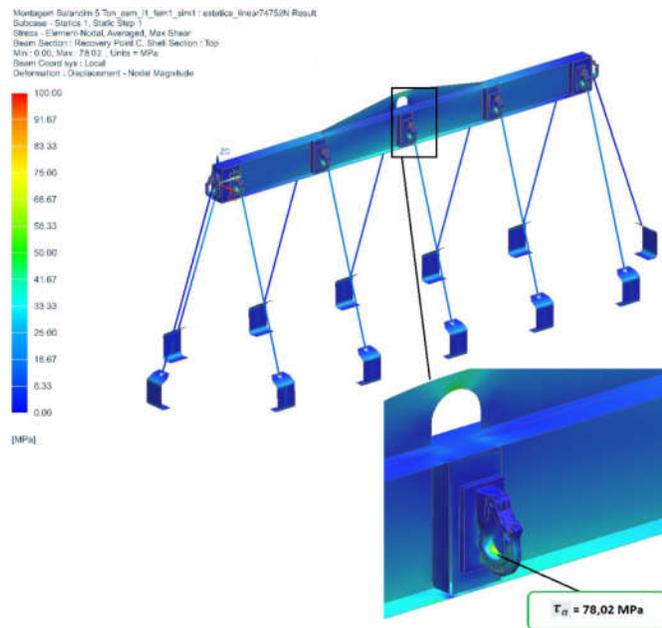
Fonte: Autor

Conforme representado na figura, a tensão máxima de Von Mises para uma carga de $c_t = 6230N$, está abaixo da tensão admissível do material USI SAC 350 representado na Tabela 5. Seu coeficiente ficou $n = 6,8$, ou seja, ficou acima de 1.5 estabelecido pela norma.

4.2.3 Análise da força cisalhante máxima da estrutura Balancim

Com uma carga total de $c_t = 74752,2N$, a Figura 23, apresenta os resultados das análises das tensões máximas cisalhantes da estrutura balancim, onde as mesmas são comparadas pela Equação 5, conforme a norma ABNT NBR 8400 (2019).

Figura 23 - Análise das forças cisalhantes da estrutura



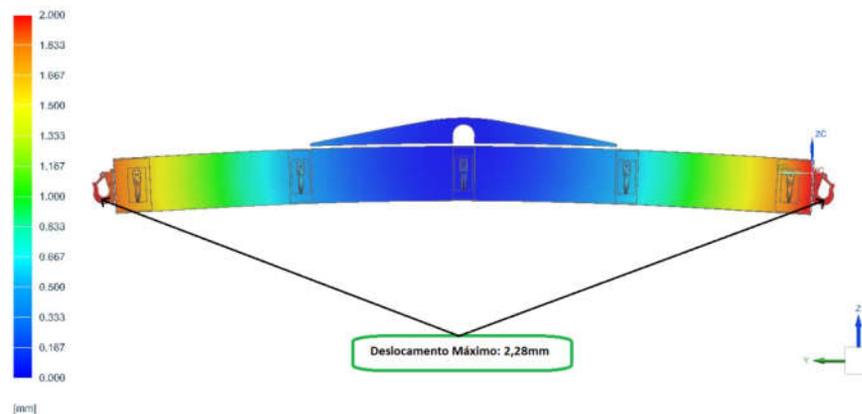
Fonte: Autor

A tensão cisalhante máxima apresentada na estrutura, foi de $\tau_a = 78,02$ MPa. Comparando essa tensão cisalhante encontrada pela análise de elementos finitos com a Tabela 5, que apresenta os resultados das tensões cisalhantes dos materiais utilizados na estrutura, conclui-se que a tensão cisalhante da estrutura está aceitável.

4.2.4 Análise de deformação da estrutura

A análise das deformações da estrutura balancim, demonstram o valor de deslocamento de tração na direção negativa em -z. A carga aplicada para essa análise é também de $c_t = 74752,2N$. A seguir a Figura 24, destaca os pontos da estrutura que tiveram as maiores deformações.

Figura 24 - Deslocamento resultante da estrutura



Fonte: Autor

O valor de deslocamento apresentado na figura anterior foi de 2,28mm, ambos os maiores pontos foram nas duas extremidades da estrutura, na posição em que encontram-se os ganchos soldáveis. Os deslocamentos encontrados na estrutura balancim de travessa, com uma carga aplicada de 74752,2 N são aceitáveis para o projeto.

A simulação numérica de elementos finitos mostrou ser uma ferramenta necessária para otimizar projetos e determinar com maiores precisões o comportamento de uma estrutura ou material. De modo geral, os resultados obtidos pelo (MEF) foram satisfatórios, comprovando assim, que o dimensionamento da estrutura balancim de travessa está adequado, atendendo a norma e as tensões admissíveis estabelecidas para o projeto.

4.3 Custos relacionados ao projeto

A seguir o Quadro 5, é apresentado a estimativa de custos dos componentes do projeto balacim de 5 toneladas, com o intuito de demonstrar a viabilidade de fabricar o equipamento em questão. Este levantamento de custos, foram realizados através da consulta de catálogos, fornecedores e valores de serviços pesquisados na internet.

Quadro 6 - Estimativa de custos do projeto balancim 5 toneladas

CUSTO ESTIMADO PARA FABRICALÇÃO DO BALANCIM 5 Toneladas				
Item	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1	Viga w Fornecedor: GERDAL Modelo: W250x28,8 / Comp.: 6m	1	R\$ 1.870,00	R\$ 1.870,00
2	Peça Chapa Material: 16mm LNE 38 / Peso: 1.8kg	12	R\$ 20,00	R\$ 240,00
3	Engate Ponte Rolante Material: ASTM A-36 / 36mm / Peso: 25kg	1	R\$ 287,00	R\$ 287,00
4	Base Gancho Soldável Material: ASTM A-36/ 12mm / Peso: 0,9kg	10	R\$ 10,00	R\$ 103,00
5	Reforço Gancho Soldável Material: ASTM A-36/ 12mm / Peso: 0,5kg	16	R\$ 5,8	R\$ 92,80
6	Gancho Soldável Fornecedor: RUD Correntes Brasil Modelo: _GSH-S – 10	12	R\$ 100,00	R\$ 1.200,00
7	Elo de Sustentação Fornecedor: RUD Correntes Brasil Modelo:ES18	12	R\$ 90,00	R\$ 1.080,00
8	Conector VS Fornecedor: RUD Correntes Brasil Modelo: VS-10	24	R\$ 120,00	R\$ 2.880,00
9	Corrente 01 Grau 8 Fornecedor: RUD Correntes Brasil Modelo: 10x30x1030	10	R\$ 650,00	R\$ 6.500,00
10	Corrente 02 Grau 8 Fornecedor: RUD Correntes Brasil Modelo: 10x30x1560	2	R\$ 160,00	R\$ 320,00
11	Base 02 Gancho Soldável Material: ASTM A-36/ 12mm / Peso: 2kg	2	R\$ 23,00	R\$ 46,00
12	Corte serra Viga I	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
13	Corte LASER das peças		R\$ 300,00	R\$ 300,00
14	Fabricação (montagem + soldagem)		R\$ 800,00	R\$ 500,00
15	Pintura Líquida		R\$ 400,00	R\$ 500,00
Custo Total Estimado:				R\$ 15.953,80

Fonte: Autor

Com a soma de todos os componentes, materiais e os processos de fabricação do balancim de travessa, chegou-se ao valor estimado de R\$ 15.953,80 reais, um valor um pouco abaixo estimado na lista de requisitos para o projeto que era de R\$ 17.000,00. Dessa forma, conclui-se que a fabricação de boa parte dos componentes do projeto se torna viável.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo de projetar e dimensionar um dispositivo, para içamentos e movimentações de materiais em geral, priorizando o deslocamento de chapas de aço já desbobinadas. Buscou-se priorizar a segurança do operador, a agilidade em posicionar o dispositivo na carga desejada e o seu custo de fabricação.

A primeira etapa do trabalho foi destacar o quando a logística sendo ela externa ou interna em ambientes fabris é importante e necessária para o fluxo de insumos e produtos fundamentais para o nosso dia a dia e o quando a ela depende de equipamentos de transporte para aumentar sua eficiência que por consequência à redução de seus custos.

O desenvolvimento do trabalho ocorreu através de critérios metodológicos de desenvolvimento de produto, os cálculos analíticos e as considerações de projeto foram através da norma ABNT NBR 8400 (2019) e para maior uma confiabilidade do projeto, foram realizados a simulação numérica pelo método dos elementos finitos da estrutura principal e do pega chapas, onde ambos os itens foram projetados.

Por fim, a simulação de elementos finitos, comprovou a resistência do balancim pela carga submetida de 74752,2 N, onde as tensões encontradas nas simulações de elementos finitos foram menores que as tensões admissíveis e cisalhantes calculadas dos materiais utilizados. Com a carga aplicada e dividida nos pega chapas utilizados, a deformação máxima da estrutura é de apenas 2,28mm. Com os coeficientes de segurança maiores que 1,5 exigidos pela norma, onde o mínimo encontrado foi de $n = 2,48$, conclui-se que, o balancim analisado está apto a ser fabricado e utilizado segundo os parâmetros estabelecidos, cumprindo assim o limite máximo da carga a ser aplicada, ou seja, 5 toneladas.

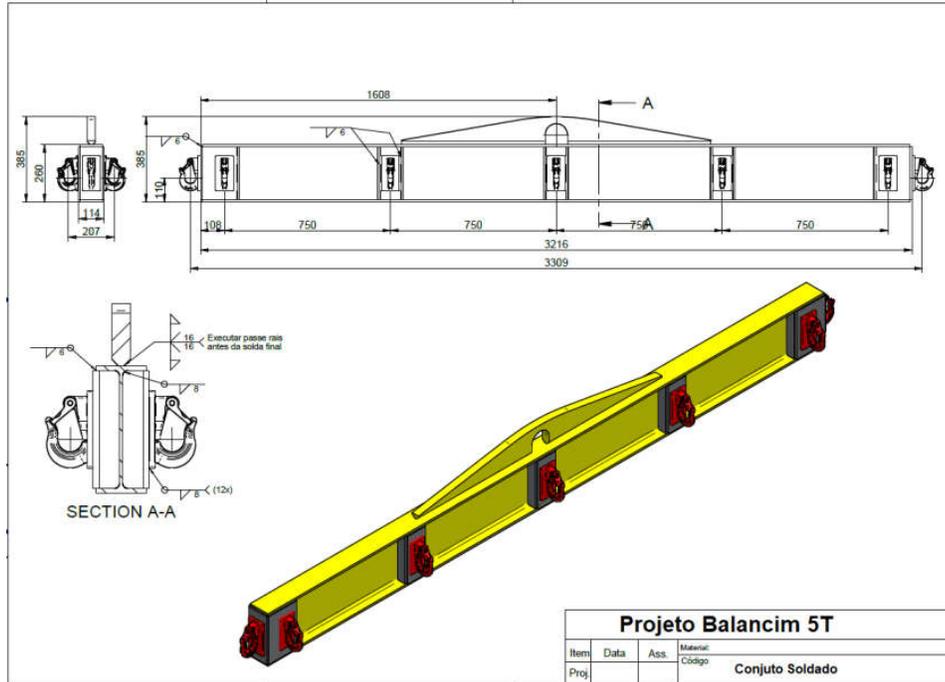
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT, (2011). *Produtos Siderúrgicos - Terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [2] ABNT 2019. (2019). *NBR 8400 - Equipamentos de elevação e movimentação de carga*.
- [3] AZEVEDO, A. F. (2003). *Método dos Elementos Finitos* (1º ed.). Porto / Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.
- [4] BRASIL, I. d., & Brasil. (2022). *AcoBrasil*. Acesso em 30 de 03 de 2020, disponível em Instituto do Aço Brasil: <https://acobrasil.org.br/site/dados-do-setor/>
- [5] BRASIL.M.(2022).www.mtcbrasil.com.br.Fonte:MTCBRASIL:<https://www.mtcbrasil.com.br/balancins>
- [6] BUDYNAS, (2016). *Elementos de Máquinas de Shigley* (10º ed.). Grupo A.
- [7] FILHO, A. A. (2018). *Elementos Finitos - A Base da Tecnologia CAE* (6º ed.). São Paulo: Saraiva.
- [8] GERDAL, (2021). *GERDAL*. Acesso em 04 de 06 de 2023, disponível em GERDAL O futuro se molda: <http://www2.gerdal.com.br/publicacao/perfis-gerdal-informacoes-tecnicas/>
- [9] GROVER, M. P. (2014). *Processos de Fabricação* (1 ed.). GRUPO GEN.

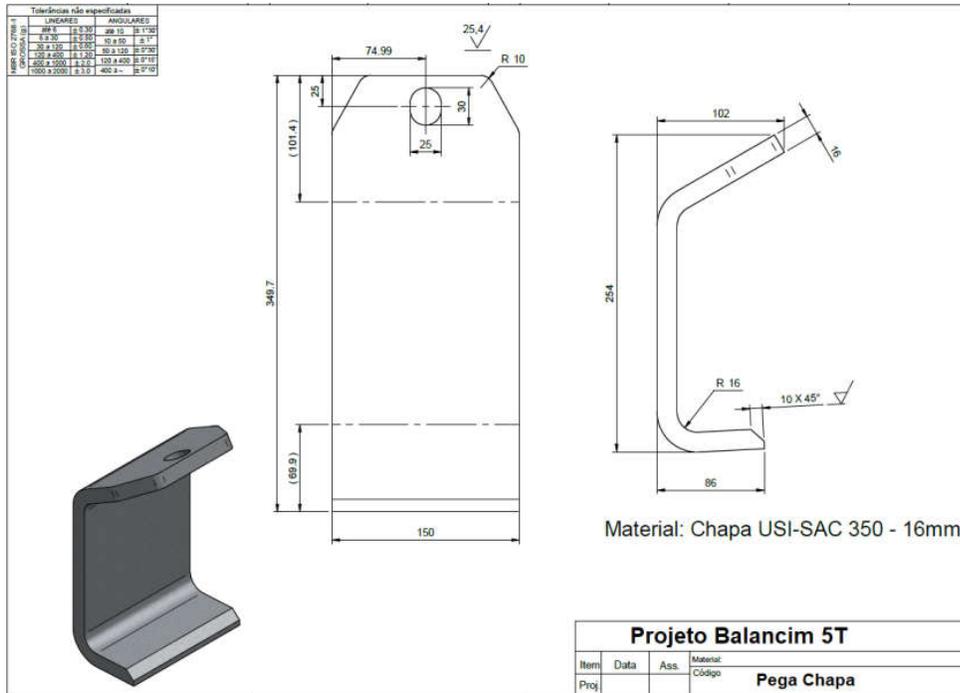
- [10] IW8, (2022). *IW8*. Fonte: **IW8** - Fábrica de equipamentos para içamento, transporte, elevação, armazenamento, segurança e proteção: <https://www.iw8.com.br/produto/suporte-balancim-big-bag-2000kg.html>
- [11] MAQFORT, (2022). **MAQFORT**. Fonte: MAQFORT - Máquinas para Marmoraria: <https://www.maqfort.com.br/ganchos-para-empilhadeiras/>
- [12] MAX-CRENE, 2. (2022). **MAX-CRENE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS**. Fonte: MAX-CRENE: <https://www.maxcrane.com.br/portfolio/gancho-c-estrutural/>
- [13] MORELLO, (2022). *www.directindustry.com.br*. Fonte: **Direct Industry**: <https://www.directindustry.com/pt/prod/morello-giovanni-srl/product-116121-1233565.html>
- [14] NETO, (2018). *Projeto e análise estrutural de uma barra de carga para uma oficina mecânica*. Fortaleza.
- [15] NORTON, R. L. (2013). *Projeto de Máquinas - Uma Abordagem Integrada* (4º ed.). Porto Alegre: Bookman.
- [16] PAHL, 2005. (2005). *Projeto na Engenharia* (1ª ed.). Blucher.
- [17] PERFIMINAS. (2022). **PERFIMINAS**. Acesso em 16 de 05 de 2022, disponível em PERFIMINAS INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA: <https://www.perfimas.com.br/perfis-metalicos-laminados>
- [18] RUD. (2023). **RUD Correntes Brasil**. Acesso em 04 de 06 de 2023, disponível em RUD Correntes Brasil : <http://www.rud.com.br>
- [19] RUDENKO, 1. (1976). *Máquinas de Elevação e Transporte*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- [20] S.r.l., M. G. (2022). *www..com.br*. Fonte: **Direct Industry**: <https://www.directindustry.com/pt/prod/morello-giovanni-srl/product-116121-1233565.html>
- [21] SANKAR, N.-H. K. (2011). *Introdução à Análise e ao Projeto de Elementos Finitos*. Rio de Janeiro: LTC.
- [22] SOARES, P. (2018). *Projeto de estrutura para içamento e carregamento de chapas de aço*. Fortaleza.
- [23] Teixeira, H. M. (2016). *Projeto básico de uma barra de separação para içamento*. Acadêmico, Niteroi RJ.
- [24] TENCOMAGNETE. (2022). **tecnomagnetete**. Acesso em 16 de 05 de 2022, disponível em TENCOMAGNETE: <https://www.mag-tecnomagnetete.com/en/products/heavy-lifting/tm-beams/>

ANEXOS

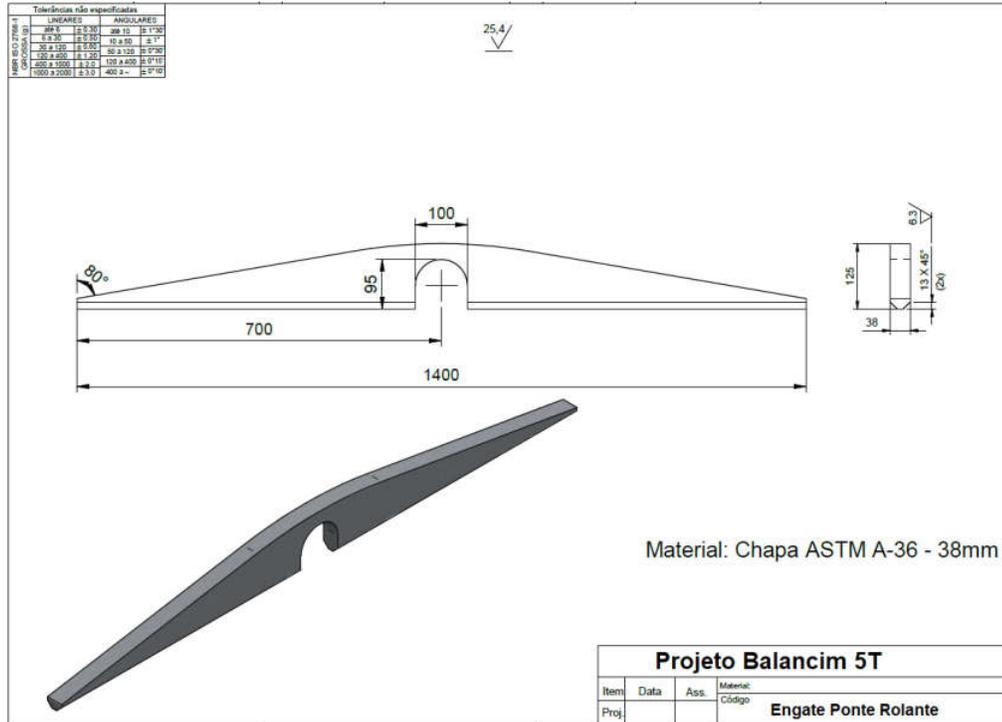
Anexo 1 – Desenho 2D detalhado do projeto Balancim, principais cotas e simbologia de soldagem



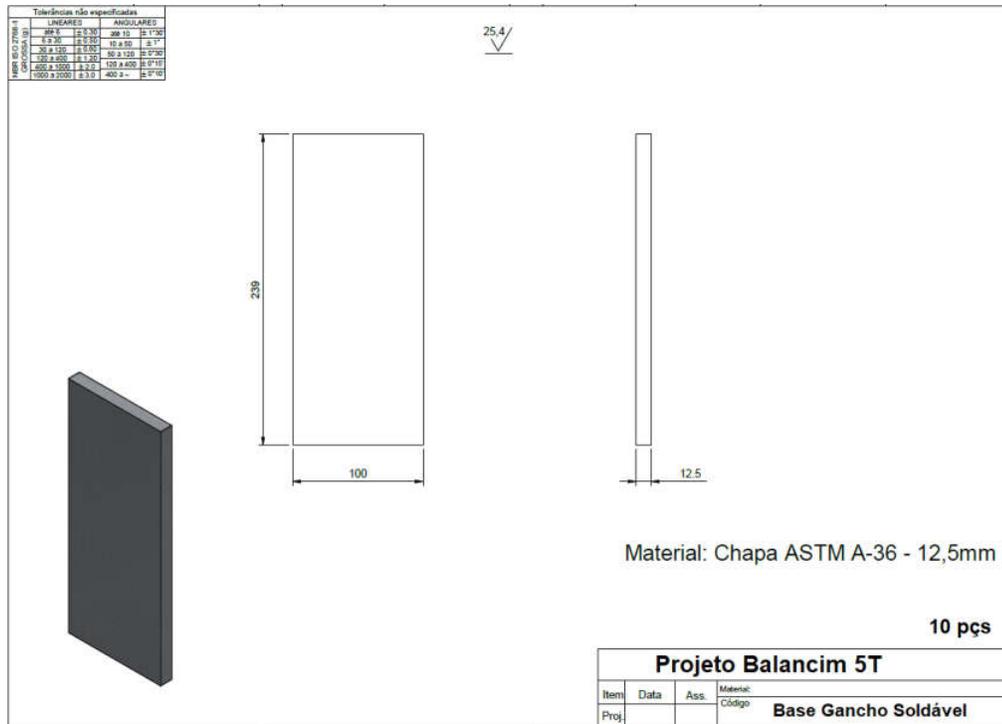
Anexo 2 - Desenho detalhado do Pega Chapa



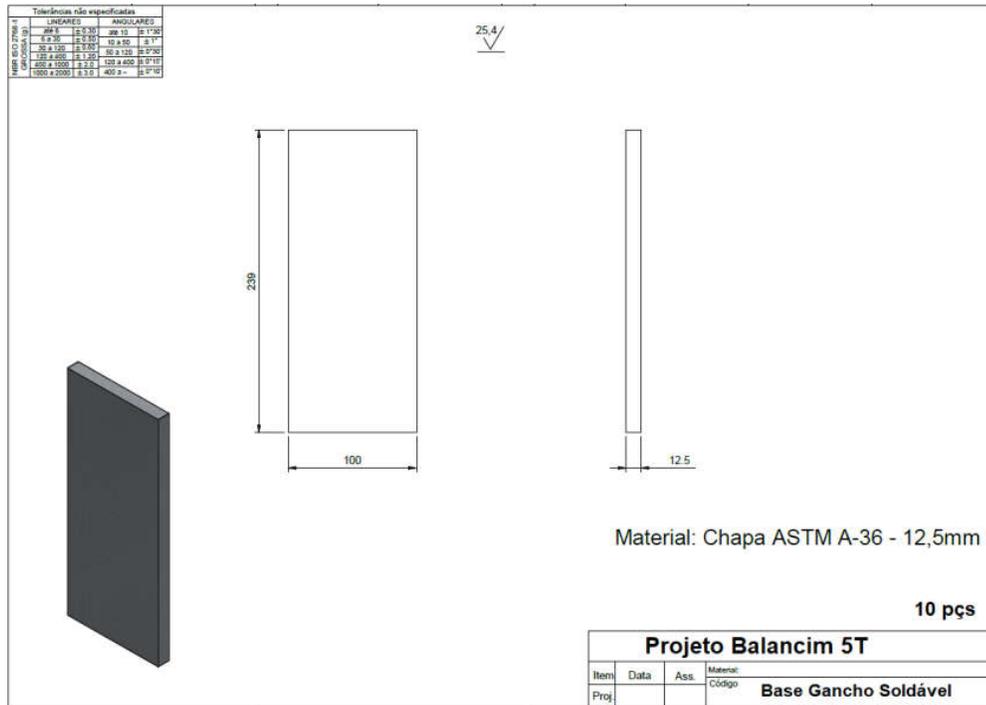
Anexo 3 - Desenho detalhado do Engate da Ponte Rolante



Anexo 4 - Desenho detalhado da Base do Gancho Soldável



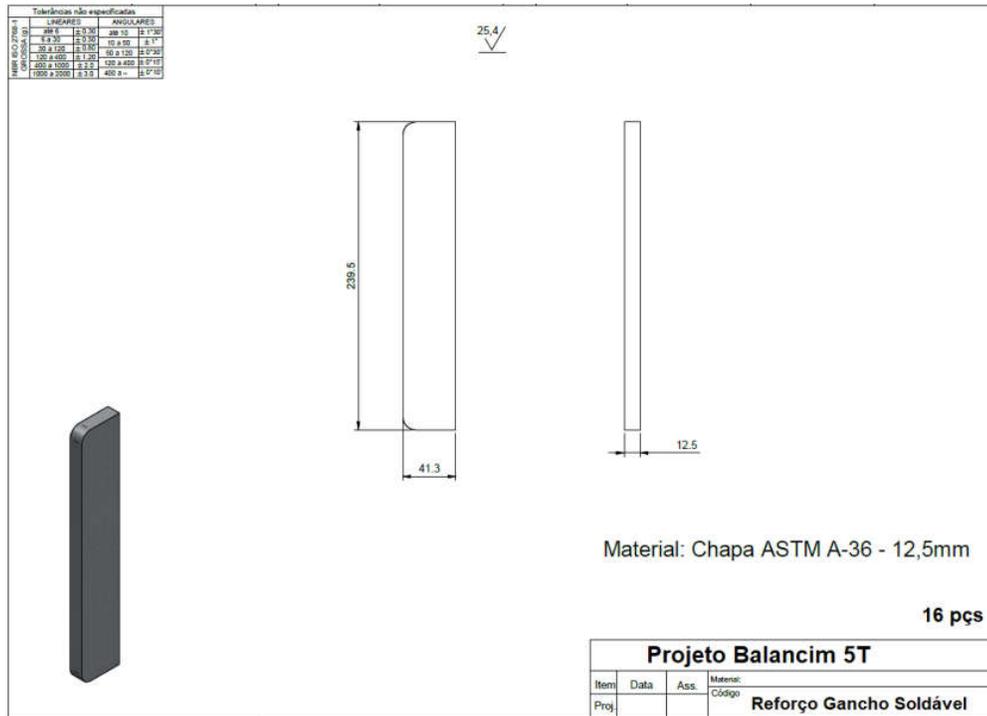
Anexo 5 - Desenho detalhado da Base do Gancho Soldável



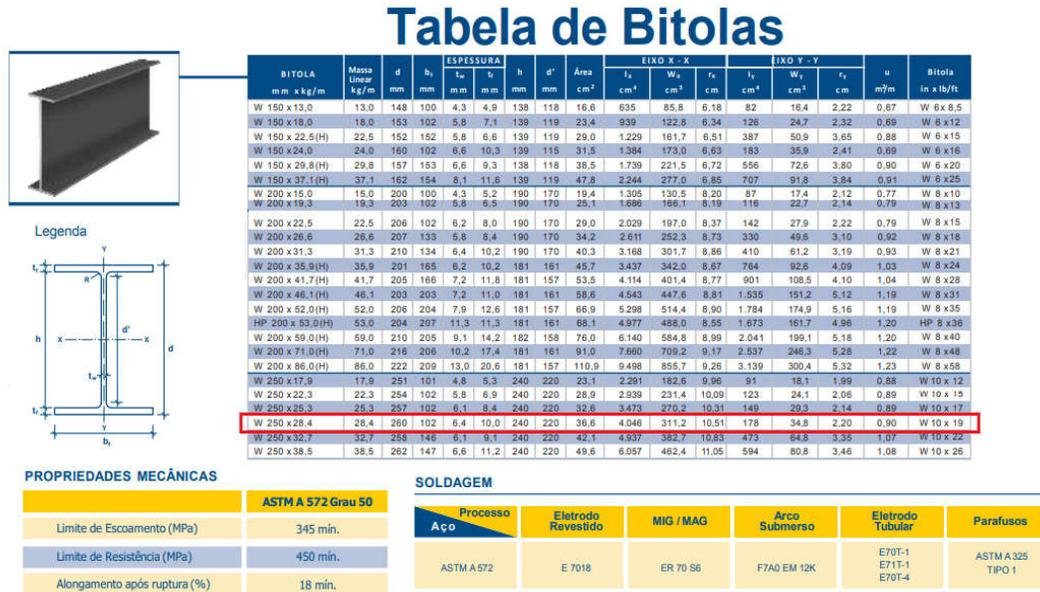
Anexo 6 - Desenho detalhado da Base 02 do Gancho Soldável



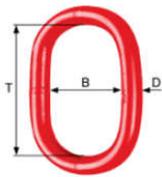
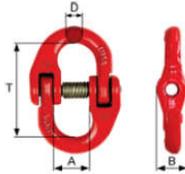
Anexo 7 - Desenho detalhado do Reforço Gancho Soldável



Anexo 8 - Dados técnicos do Perfil W 250x28,4 da Gerdal utilizado no projeto



Anexo 9 - Dados técnicos do Elo de Sustentação ES 18 e o Conector VS 10 utilizados no projeto, ambos são fornecidos pela empresa RUD Correntes Brasil

Descrição	Carga máxima de trabalho (kg)		1 ramal corrente (mm)	2 ramais corrente (mm)	Dimensões (mm)			Peso kg/pç
	4:1	5:1			D	B	T	
ES-13	1600	1280	6	6	13	50	90	0,30
ES-16	2360	1900	8	-	16	60	110	0,53
ES-18	3200	2500	10	8	18	70	130	0,80

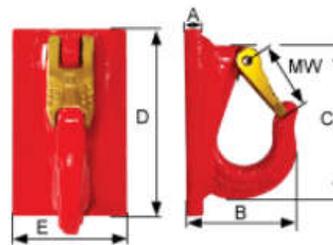
Descrição	Carga máxima de trabalho (kg)	Dimensões (mm)				Peso kg/pç
		A	D	T	B	
VS - 6	1120	14	6,8	44	11	0,07
VS - 8	2000	20	8,5	55	13	0,14
VS - 10	3200	23	10,5	70	20	0,3
VS - 13	5300	31	14	86	24	0,6

Anexo 10 - Dados técnicos da corrente 10x30 utilizada no projeto, fornecida pela empresa RUD Correntes Brasil.



Descrição	Carga max. de trabalho (kg)	Dimensões (mm)			Peso (kg/m)	Carga de Teste (kN)	Carga de Ruptura (kN)	Informe o comprimento (m)
		D	T	Bi (min.)				
6 x 18	1120	6	18	7,8	0,80	28,3	45,2	<input type="text"/> m
8 x 24	2000	8	24	10,4	1,36	50,3	80,4	<input type="text"/> m
10 x 30	3200	10	30	13	2,16	78,5	126	<input type="text"/> m
13 x 39	5300	13	39	17	3,60	133	212	<input type="text"/> m

Anexo 11 - Dados técnicos do gancho soldável GSH-S-10 utilizado no projeto, fornecido pela empresa RUD Correntes Brasil



Fator de Segurança: 4:1

Descrição	Carga máxima de trabalho (kg)	Dimensões (mm)						Peso kg/pç	Solda HV ∇
		MW	A	B	C	D	E		
GSH-S - 6	1120	25	10	64	92	100	60	0,6	5
GSH-S - 8	2000	30	10	83	125	135	70	1,4	5
GSH-S - 10	3200	35	12	104	144	155	80	1,9	6
GSH-S - 13	5300	40	15	120	170	185	90	3,3	8