



Luan Marcel Förster

PROJETO DE EMPILHADEIRA ADAPTADA EM UM TRATOR

Horizontina

2014

Luan Marcel Förster

PROJETO DE EMPILHADEIRA ADAPTADA EM UM TRATOR

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Fabiano Cassol, Dr.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Projeto de Empilhadeira Adaptada em um Trator”

Elaborado por:

Luan Marcel Förster

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 14/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Dr. Fabiano Cassol
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Me. Sirnei Cesar Kach
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Esp. Leonardo Teixeira Rodrigues
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, e a todos que me apoiaram durante esta etapa muito importante da minha vida, e que estiveram sempre ao meu lado durante esta caminhada, me incentivando.

AGRADECIMENTO

Primeiramente à Deus que me deu a vida e que me deu condições de chegar até aqui. À minha família por estar ao meu lado em todos os momentos, aos colegas e amigos. A todos os professores deste curso que me orientaram durante o período de graduação e em especial ao professor Fabiano Cassol orientador deste trabalho.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho aborda o planejamento para o desenvolvimento de uma empilhadeira que pode ser acoplada a um trator. Os tratores são máquinas autopropelidas utilizadas normalmente na agricultura. O objetivo é projetar um equipamento que facilite a elevação e o transporte de cargas em diversos setores da indústria e principalmente da agricultura. Sendo assim no decorrer deste trabalho é possível compreender como pode ser desenvolvida uma empilhadeira acoplada em um trator. Esta empilhadeira pode suportar 2.000 quilos em carga distribuída sobre os garfos, ou seja, elevar a carga de um big-bag ou palete, a uma altura de até 3 metros. Uma vantagem desse tipo de equipamento é que ele é acoplado a um trator eliminando a necessidade de compra de uma empilhadeira automotriz que tem um custo elevado. Este trabalho foi realizado através de pesquisa bibliográfica, levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios físicos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, e web sites. Na apresentação e análise dos resultados é realizado o dimensionamento do garfo e da torre, neste tópico são apresentados cálculos de esforços, momento de inércia, análise da carga, momento fletor gerado pela carga. Também foi estudado o sistema de rolamento, o cabo de aço e polia, é definida como é efetuada a acoplagem do equipamento no trator, é realizado o desenho de todo o equipamento em Solid Works indicando os componentes projetados, e também estudado as simulações de carga estática para análise da estrutura e apresentado nos resultados. Neste trabalho foi concluído que há a possibilidade de projetar um equipamento de elevação e transporte de carga que seja acoplável a um trator, eliminando a necessidade de uma máquina empilhadeira para estes serviços, este tipo de equipamento se torna mais viável para quem já possui um trator que pode ser também usado em outras operações.

Palavras-chaves: Empilhadeira. Trator. Dimensionamento.

ABSTRACT

This paper discusses planning for the development of a forklift that can be coupled to a tractor. Tractors are usually self-propelled machines used in agriculture. The goal is to design a device that facilitates lifting and carrying loads in various sectors of industry and especially agriculture. So in this paper is to understand how one can be developed in a coupled tractor forklift. This forklift can withstand 2,000 pounds distributed load on the forks, that is, raise the load of a big-bag or pallet at a height of up to 3 meters. One advantage of this type of equipment is that it is coupled to a tractor eliminating the need to purchase an automotive truck that has a high cost. This work was conducted through literature review, survey of theoretical frameworks already analyzed and published by physicists and electronic media, such as books, journal articles, and web sites. In the presentation and analysis of results sizing the fork and the tower is done, this topic calculations efforts, moment of inertia, load analysis, bending moment generated by the load are presented. The bearing system has also been studied, wire rope and pulley, is defined as the coupling is effected equipment on the tractor, the design is performed on all equipment in Solid Works indicating the projected components, and also studied the load simulations static for analysis of the structure and the results presented. In this work it was concluded that there is the possibility of designing equipment for lifting and transporting cargo that is attachable to a tractor, eliminating the need for a forklift machine for these services, this type of equipment becomes more feasible for those who already own a tractor it can also be used in other operations.

Keywords: Forklift. Tractor. Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Principais componentes de uma empilhadeira.....	10
Figura 2.2 - Meios de aproveitamento de potência dos tratores.....	11
Figura 4.1 - Desenho de todo o equipamento.	14
Figura 4.2 - Acoplamento no trator	15
Figura 4.3 - Viga c.	16
Figura 4.4 - Desenho da estrutura dos garfos.....	16
Figura 4.5 - Desenho do perfil dos garfos.	17
Figura 4.6 - Simulação de esforços com carga de 500 kgf na extremidade.	18
Figura 4.7 - Desenho da carga distribuída.	19
Figura 4.8 - Simulação de esforços com carga de 1000 kgf distribuída.	20
Figura 4.9 - Dimensionamento da torre.	21
Figura 4.10 - Simulação de esforços com carga de 2000 kgf.m distribuída.....	22
Figura 4.11 - Desenho da ilustração da solda na viga.	23
Figura 4.12 - Sistema de rolamento com as dimensões.	25
Figura 4.13 - Desenhos com informações técnicas do rolamento.	26
Figura 4.14 - Tipos de cabos de aço.	27
Figura 4.15 - Desenho da polia em 3d com dimensões	28
Figura 4.16 - Sistema de elevação da carga.	29

LISTA DE QUADROS

Quadro - 1 Nomenclatura dos aços	32
Quadro - 2 Classificação dos aços quanto a soldabilidade	32

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1 Fator de segurança cabos de aço.	33
Tabela - 2 Tabela de cabos de aço.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1	HISTÓRICO DAS EMPILHADEIRAS.....	8
2.2	CONCEITOS BÁSICOS.....	8
2.3	PRINCIPAIS COMPONENTES.....	9
2.4	TRATORES.....	10
2.4.1	Sistema Hidráulico (SH).....	11
2.4.2	Barra de Tração (BT).....	11
2.4.3	Tomada de Potência (TDP).....	12
2.4.4	Sistema de controle remoto.....	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4.1	ACOPLAMENTO DO EQUIPAMENTO NO TRATOR.....	14
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS GARFOS E DA TORRE.....	15
4.2.1	Momento Fletor Gerado Pela Carga.....	16
4.2.2	Tensão Máxima.....	17
4.2.3	Coefficiente De Segurança.....	22
4.3	DIMENSIONAMENTO DA SOLDA.....	23
4.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ROLAMENTO.....	24
4.5	DIMENSIONAMENTO DO CABO DE AÇO E POLIA.....	26
4.6	CILINDRO HIDRÁULICO.....	28
5	CONCLUSÕES	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
	ANEXO A	32

1 INTRODUÇÃO

As empilhadeiras surgiram com a necessidade de mobilidade e elevação de cargas, aliada a falta de mão de obra em tempos de guerra. Hoje se tornou um equipamento essencial para este tipo de trabalho, tanto em grandes e pequenas empresas como em diversos outros segmentos. O conceito admitido para empilhadeiras é que estes são equipamentos utilizados para carregar os mais diferentes tipos de materiais sobre os garfos, que servem de apoio para carga, esta pode ser movimentada na horizontal, através do movimento da máquina, e na vertical através de um sistema hidráulico.

Como a empilhadeira projetada é um equipamento usado com um trator, para compreender o que é um trator, de acordo com Fernandes et al (2013), os tratores são máquinas utilizadas na agricultura, construção civil e estradas, como meio de transporte, utilizado para trabalhar com equipamentos que podem ser nele acoplados, nos pontos de engates existentes. Seus meios de aproveitamento de potência são através do Sistema Hidráulico (SH), da Barra de Tração (BT) e da Tomada de Potência (TDP).

Este trabalho tem como objetivo central desenvolver uma empilhadeira que será acoplada em um trator. Ainda tendo como pré-requisito, é necessário que este equipamento tenha capacidade para suportar 2.000 quilos de carga distribuída e elevar esta carga até uma altura de três metros. Podendo transportar cargas em big bags e paletes. Neste trabalho fez-se um estudo para verificar qual a maneira mais adequada para efetuar o acoplamento ao trator, foi realizado cálculos, para o dimensionamento dos garfos, estrutura da torre, solda, cabo de aço, polia e pistão. Também foi analisado qual rolamento a ser utilizado, tipo de cabo de aço e tipo de aço utilizado.

É importante o desenvolvimento desse projeto em virtude de que uma empilhadeira acoplada a um trator elimina a necessidade de compra de uma empilhadeira automotriz, apenas deve-se acoplar o mecanismo de elevação ao trator. O custo desse mecanismo é inferior ao de toda a empilhadeira automotriz.

Este projeto facilita a vida de proprietários de tratores, que necessitam de um equipamento que possa fazer o trabalho de uma empilhadeira, melhorando o processo de transporte de carga, em facilidade de mobilidade, em curto espaço de tempo, e com baixo custo de aquisição se comparado com uma empilhadeira automotriz que trabalha só para isso.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DAS EMPILHADEIRAS

De acordo com Carvalho (2013), as primeiras empilhadeiras que se têm relatos foram em 1906 quando a Pennsylvania Railroad introduziu caminhões de plataformas alimentados por baterias, que deslocavam bagagens na estação de trens em Altoona, Pensilvânia. Devido à escassez de trabalho provocada pela primeira Guerra Mundial (1914-1918) houve um desenvolvimento de diferentes tipos de equipamentos para movimentação de grandes volumes. Em 1920 surgiu o caminhão trator com capacidades de 2000 a 5000 kg. Foi o primeiro caminhão trator industrial a utilizar energia hidráulica como meio de elevação da carga.

Carvalho (2013), ainda destaca que a primeira empilhadeira a usar o conceito de forquilha para a movimentação de cargas foi o equipamento Duat, assim chamado na época, Duat que literalmente quer dizer: (faça isso). Este foi o primeiro caminhão trator compacto com três rodas movido a gás, com capacidade de mover uma carga de 750 kg no ano de 1923 produzido pela empresa CLARK, esta empilhadeira já era parecida com as atuais.

Segundo Carvalho (2013), a Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945) incentivou o uso de empilhadeiras no serviço de guerra. Após a guerra, máquinas mais eficientes para o armazenamento de produtos em armazéns estavam para surgir. A necessidade de mobilidade levou ao desenvolvimento de empilhadeiras mais ágeis e compactas, com maior capacidade de peso e alcance. Em 1945 surgiram empilhadeiras com alto poder de elevação com capacidade de 1000 a 4000 kg movidas a gás. A partir de então elas são adaptadas para cada tipo de necessidade, mas sem perder suas características gerais, de elevação e transporte de cargas.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS

As empilhadeiras são equipamentos utilizados para levantar e carregar materiais dos mais diferentes tipos, através de garfos que são inseridos embaixo da carga. Estes garfos são chamados de forquilhas.

Existem diversos tipos de empilhadeiras para as diversas finalidades. Os tipos mais comuns são as empilhadeiras elétricas e as empilhadeiras à combustão, onde essas são capazes de transportar cargas pesadas e possuem uma grande variedade de tamanhos. Cada tipo de empilhadeira está relacionada às necessidades do projeto.

Podem-se definir alguns pontos para escolher adequadamente o melhor tipo de empilhadeira para dada situação, ou seja, qual o tipo de carga a ser transportada, o peso da carga, de que maneira ela será transportada, o ciclo de movimentação do equipamento, levando em consideração as distâncias percorridas, o tipo de terreno a ser percorrido e o tipo de indústria e características ambientais, por exemplo lugares úmidos onde as partes externas da empilhadeira fica exposta a substâncias corrosivas, como água do mar em ambientes portuário.

2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES

Para entender melhor como uma empilhadeira funciona podemos observar o conjunto de componentes que fazem parte de seu sistema. Na Figura 1 é possível visualizar uma empilhadeira com os seus principais componentes.

De acordo com KABUKI Empilhadeiras (2013), os números na figura 2.1 representam:

1. Polia
2. Mastro ou torre de elevação
3. Corrente ou cabo de elevação
4. Alavanca de controle do mastro
5. Sistema hidráulico
6. Plataforma de carregamento
7. Garfo ou forquilha
8. Chassi
9. Compartimento motor
10. Teto da cabina

Figura 2.1 - Principais componentes de uma empilhadeira.



Fonte: KABUKI Empilhadeiras, 2013.

Lembrando que neste trabalho não serão projetados todos os pontos apresentados nesta figura, apenas os componentes que fazem parte do sistema de elevação, ou seja, do item 1 ao 7.

2. 4 TRATORES

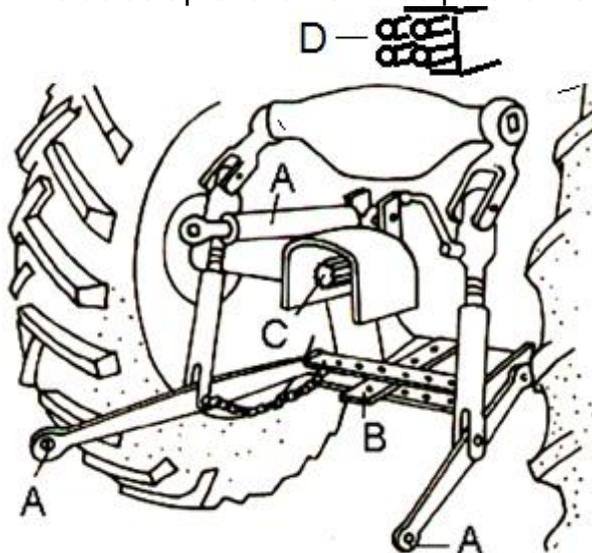
Os tratores são máquinas dotadas de motor de combustão interna de ciclo Diesel ou Otto e foram projetados para tracionar, transportar e fornecer energia mecânica para movimentar os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas. São largamente utilizados na agricultura, construção civil e de estradas, e em serviços especializados em projetos industriais, entre outras aplicações (FERNANDES et al, 2013, p. 25).

Fernandes ainda destaca que os meios de aproveitamento de potência dos tratores são: Sistema Hidráulico (SH), Barra de Tração (BT) e Tomada de Potência (TDP).

Na figura 2.2 os pontos marcados com A, B, C e D são respectivamente:

- A - Sistema de levante hidráulico;
- B - Barra de tração;
- C - Tomada de potência;
- D - Sistema de controle remoto.

Figura 2.2 - Meios de aproveitamento de potência dos tratores.



Fonte: Fernandes et al, 2013, p. 25.

2.4.1 Sistema Hidráulico (SH)

O sistema hidráulico é usado para o levar e abaixar máquinas e implementos, ativa o levante de 3 pontos, controle de ondulação e comando remoto.

O levante de 3 pontos é usado para o acoplamento de implementos ao trator, ele possui os comandos de posição, que comanda o levantamento e o abaixamento. A profundidade que é um desses comandos, ajusta a profundidade de corte dos implementos que trabalham abaixo da superfície do solo. O comando de reação é o controle da velocidade de descida dos implementos podendo ser rápida ou lenta. O comando de controle de ondulação existe o controle automático da profundidade de trabalho de acordo com a superfície do solo. Existe um acionamento conectado na base do 3º ponto, através do movimento do 3º ponto, esse mecanismo é acionado.

2.4.2 Barra de Tração (BT)

A potência na barra de tração está sujeita a perdas de até 50% em relação a potência nominal e até 30% em relação à TDP (em condições de campo). Estas perdas são devidas principalmente à altitude, temperatura, declividade e superfície do solo.

Para aumentar a aderência das rodas dianteiras no solo e diminuir a patinagem com o aumento de peso, a barra de tração é montada abaixo do eixo das rodas traseiras.

2.4.3 Tomada de Potência (TDP)

Tomada de potência é o dispositivo com maior eficiência de aproveitamento da potência do motor, em forma de rotação, para máquinas acopladas no trator, através de um eixo extensivo com uma junta de cardan nos dois extremos. As perdas são somente no sistema de transmissão (acoplamento do eixo da TDP com a entrada da caixa de marchas do trator).

A localização mais comum do eixo da TDP é na parte posterior do trator, mas alguns modelos têm eixos de TDP em outras posições, como na parte frontal, por exemplo.

A velocidade de rotação e as dimensões da TDP foram padronizadas para fornecer a capacidade de interligar equipamentos de diferentes fabricantes.

2.4.4 Sistema de controle remoto

Através de acionamento do mecanismo do controle remoto o trator fornece óleo com pressão através de mangueiras que são acopladas ao trator para acionar funções dos implementos, onde pistões hidráulicos movimentam partes dos implementos para exercer suas funções como, por exemplo, suspender uma plantadeira sobre as rodas.

Após apresentar os meios de aproveitamento de potência dos tratores, e conhecendo suas aplicações, fica claro que o meio mais próspero a ser utilizado neste trabalho é o Sistema hidráulico (SH) em conjunto do controle remoto, em virtude que a ideia é adaptar uma empilhadeira a um trator. O equipamento a ser projetado necessita ativamente do levante de 3 pontos do trator para ser fixado e o acionamento do controle remoto para suspender os garfos através de um pistão hidráulico.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O projeto é iniciado com uma pesquisa bibliográfica, com intuito de aprimorar o conhecimento sobre empilhadeiras e tratores, sendo isso essencial para conseguir projetar uma torre de elevação da empilhadeira que será acoplada em um trator. O procedimento de pesquisa bibliográfica pode ser definido como:

A pesquisa bibliográfica é realizada a partir de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios físicos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, e web sites.

Após realizar a pesquisa bibliográfica parte-se para a etapa de desenvolver a apresentação e análise dos resultados. Primeiramente se torna indispensável verificar como o equipamento é acoplado ao trator, qual o local mais adequado, quais as peças necessárias para essa função, e como são fixadas essas peças.

Então inicia-se com o dimensionamento dos garfos, calculando a tensão máxima da carga, define-se qual o material a ser utilizado e dimensões mais adequadas para suportar a carga de 2.000 quilos que será submetida.

A etapa seguinte é o dimensionamento da torre de elevação, ou seja, é definido o seu comprimento, o material a ser utilizado, como é o encaixe para a estrutura dos garfos, e por fim o desenho no software Solid Works (versão 2013) e simulações de carga estática, neste mesmo software.

Para possibilitar o garfo de subir e descer na torre de elevação é necessário um mecanismo de rolamento, assim é realizado um estudo através de pesquisas para definir como será desenvolvida esta montagem através de um sistema de rolamento, como ele é fixado na estrutura dos garfos, e como ele irá se movimentar no interior das torres.

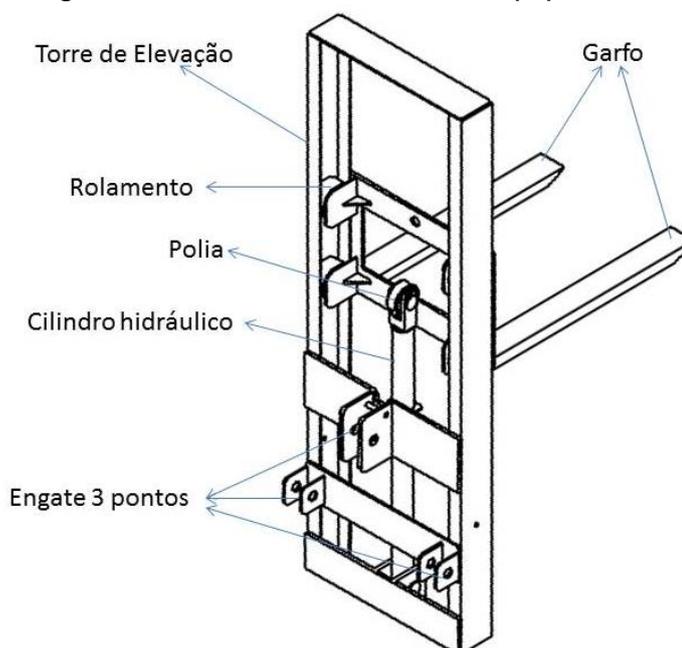
Com a necessidade de algum mecanismo para elevar o garfo, é desenvolvido um sistema hidráulico, onde nesta etapa será dimensionado um pistão, verificado os pistões existentes no mercado e como ele é fixado no sistema. Também é necessário dimensionar um cabo de aço e uma polia, definir como é fixada a polia, calcular as dimensões, calcular o diâmetro para este cabo, e verificar nas tabelas de fabricantes quais as dimensões que se encaixam dentro das especificações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como empilhadeira é um equipamento de elevação e transporte de cargas, para o desenvolvimento da mesma se torna necessário tomar em consideração alguns fatores decisivos, como: avaliar o que se deseja transportar, qual é a carga máxima que o objeto a ser transportado terá, qual o tamanho, ou seja, as dimensões que a carga terá, como ela vai ser apoiada sobre os garfos, a que altura a carga deve ser elevada. Estes fatores já foram definidos anteriormente.

Pode ser observado na Figura 4.1 a estrutura completa da empilhadeira que é a concepção objetivada. Para isso, se torna necessário a aplicação de diversos cálculos que estão apresentados a seguir, para realizar o dimensionamento dos garfos, da torre, dos rolamentos, da polia, do cilindro hidráulico, e o cabo de aço que será utilizado para suspender os garfos.

Figura 4.1 - Desenho de todo o equipamento.

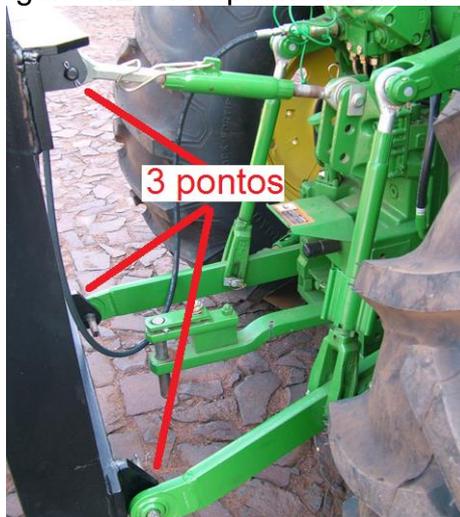


4.1 ACOPLAMENTO DO EQUIPAMENTO NO TRATOR

O primeiro passo para garantir o funcionamento do equipamento, necessita-se definir qual a melhor maneira para ele ser acoplado ao trator, neste momento deve ser levado em consideração que o equipamento não ficará permanente no trator.

Para facilitar o acoplamento e desacoplamento do equipamento ao trator será utilizado os braços do levante hidráulico do trator, e no equipamento terá três pontos de engate, Figura 4.2.

Figura 4.2 - Acoplamento no trator



Fonte:Saur,2014.

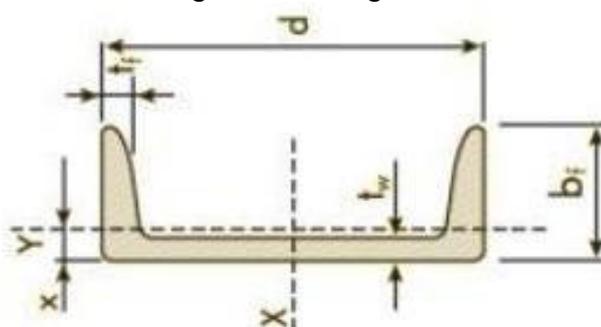
4. 2 DIMENSIONAMENTO DOS GARFOS E DA TORRE

O aço a ser escolhido para a fabricação dos componentes da empilhadeira é o ASTM A 36, pela disponibilidade desse material no perfil desejado (viga C) no mercado, é um aço com médio teor de carbono e de boa soldabilidade, não necessita pré-aquecimento, estas características estão indicadas no Quadro 2 localizado no Anexo A. Possui valores limites de resistência a tração, limite de escoamento e elasticidade adequados para suportar os esforços submetidos, estes valores são encontrados no Quadro 1 localizado no Anexo A.

Para o aço ASTM A36, utilizam-se eletrodos E60 e E70, do tipo comum ou baixo hidrogênio. Estes tipos de eletrodos possuem valores elevados de resistência a ruptura o E60 que será utilizado possui uma resistência a ruptura de 415 Mpa, segundo PFEIL, (1995).

O perfil da estrutura (viga C) Figura 4.3,é escolhido devido a este ser um perfil resistente e adequado para exercer as funções dos garfos que servem de base da carga, e torre da empilhadeira que serve como meio de sustentação e trilho para o movimento de elevação e movimento de descida dos garfos.

Figura 4.3 - Viga C.

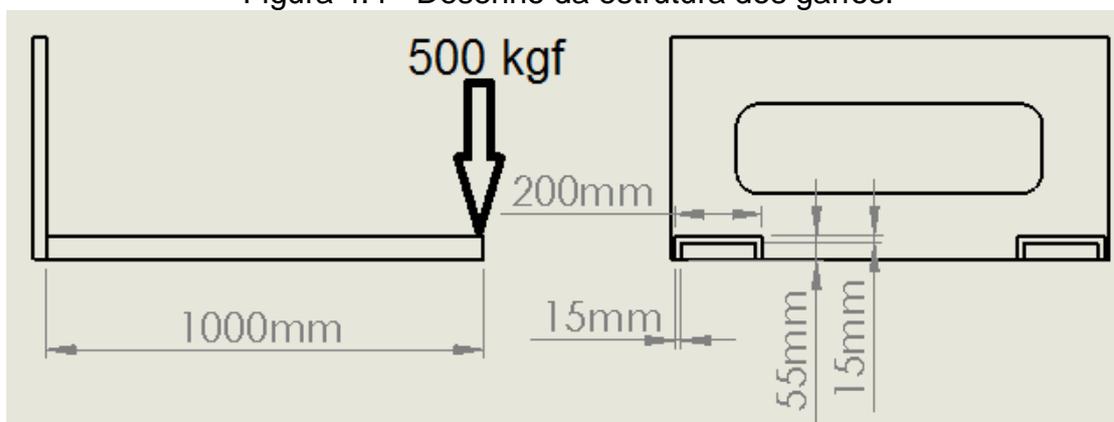


Fonte: Samiaço 2013.

4.2.1 Momento Fletor Gerado Pela Carga

Será considerado inicialmente que a carga máxima está localizada na ponta do garfo e poderá ser usado somente um dos garfos para suportar toda carga. Uma das extremidades pode deformar-se livremente e a outra esta rigidamente encastrada, ou seja, fixa de forma que não se mova. Com estas informações define-se o cálculo do Momento fletor para esta situação, onde (F) é a carga aplicada e (D) a distância da parte fixa da estrutura até o ponto em que a carga está suspensa.

Figura 4.4 - Desenho da estrutura dos garfos.



O Momento Máximo é determinado por:

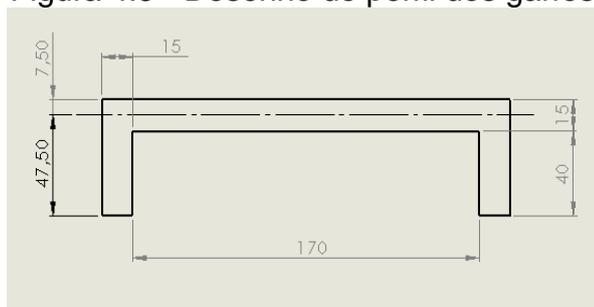
$$M_{\text{máx}} = F * D \quad (4.1)$$

Para um valor de carga aplicada F igual a 500 kgf e um valor de distância D de 100 cm, obtemos um momento máximo de 50000 kgf.cm. Este momento máximo é encontrado em uma situação de máxima força de reação para esta carga. Ao mudar a carga da extremidade para o centro do garfo, a distância diminui e o momento fletor diminui conforme a carga vai se aproximando da parte fixa do garfo.

4.2.2 Tensão Máxima

Para calcular a tensão máxima necessita-se primeiro calcular o momento de inércia na viga. Na Figura 4.5 temos as medidas do perfil C para calcular o momento de inércia.

Figura 4.5 - Desenho do perfil dos garfos.



Então colocam-se os valores do perfil C na fórmula 4.2 do momento de inércia para este perfil:

$$J = \frac{4,75 \cdot 0,75^3}{3} + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 4,75^3}{3} + \frac{170 \cdot 0,75^3}{3} \quad (4.2)$$

Para um perfil C de dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200 mm obtém-se um momento de inércia de 110,2 cm⁴.

Com o momento de inércia do perfil (C), onde se obtém as medidas de espessura, comprimento das abas, e largura do material, e com o momento fletor, é possível encontrar tensão máxima de ruptura, que pode ser comparado com o limite de escoamento, limite de elasticidade e limite de resistência a tração do aço ASTM A36, que pode ser visto no Quadro1 encontrado no Anexo A. Através da formula 4.3 encontramos a tensão máxima, onde (J) denomina-se momento de inércia, e $Y_{máx}$ é a altura das abas do perfil:

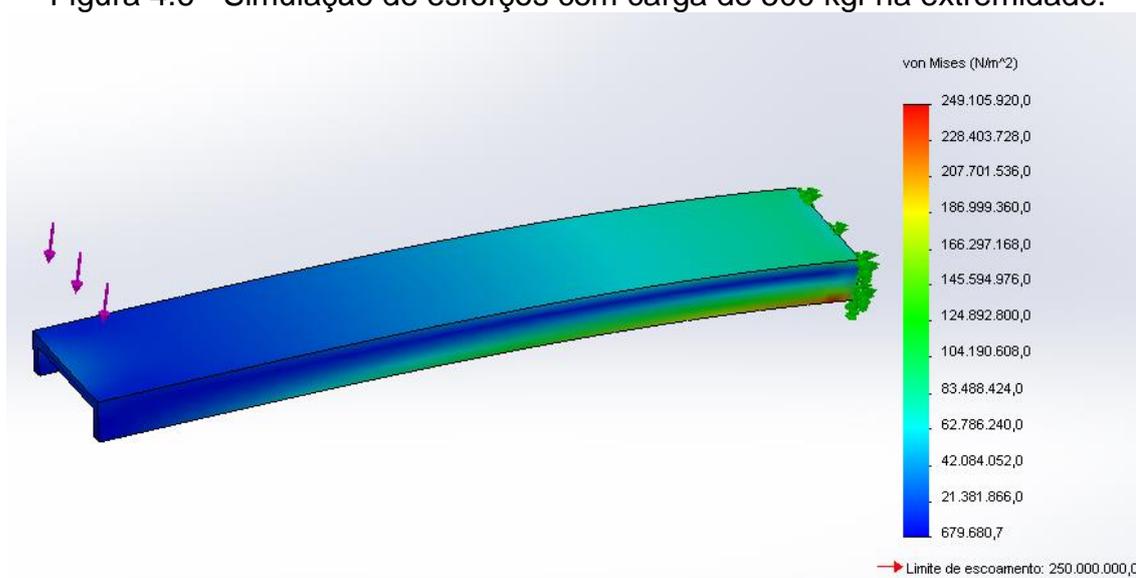
$$\sigma_{max} = \frac{\text{Momento Máx} \cdot Y_{máx}}{J} \quad (4.3)$$

Encontrado o momento de inércia, calcula-se a tensão máxima através da fórmula 4.3, descrita anteriormente.

Com um momento máximo de 50000 kgf.cm, um altura $Y_{máx}$ de 5,5 cm e o momento de inércia de $110,2 \text{ cm}^4$, obtém-se uma tensão máxima de 2495,46 kgf/cm² ou 244,72 MPa. O limite de escoamento do aço ASTM A36 é de 250 MPa, a tensão máxima não ultrapassa este limite, logo a viga irá suportar a carga, dentro do limite de escoamento do material, e o limite de elasticidade já é bem superior de 200 Gpa como também o limite de ruptura 400 Mpa.

Na Figura 4.6 foi realizado uma simulação em software, onde é informado o valor, o local da carga aplicada, o ponto de fixação da viga, o material utilizado. Então foi informado no software que, a carga é aplicada em uma das extremidades, e a viga está fixa na outra extremidade, e também foi usado como material o aço ASTM A36. Esta viga tem as mesmas medidas, usadas na fórmula 4.3, comprimento de 100cm, dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200mm.

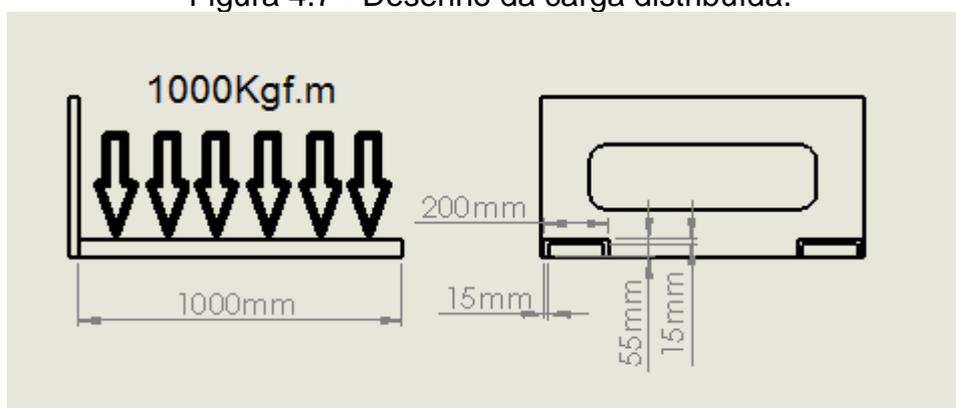
Figura 4.6 - Simulação de esforços com carga de 500 kgf na extremidade.



Conforme a simulação, na escala onde informa os valores das tensões de acordo com a cor representada na figura 4.6, o valor de tensão máxima é 249.1 MPa está muito próximo do encontrado através de cálculos. Pode ser observado que a tensão máxima está próximo do ponto de fixação do garfo devido o esforço de alavanca submetido na estrutura.

Agora será considerada a mesma viga mesmas medidas, comprimento de 100 cm, dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200 mm. Porém carga distribuída Figura 4.7, neste caso é possível dobrar o peso para 1000 Kgf em um garfo.

Figura 4.7 - Desenho da carga distribuída.



Com base nestas informações define-se o cálculo do Momento fletor para esta situação. A fórmula 4.4 do momento máximo para este tipo de carga, onde (q) é a carga distribuída, (L) é o comprimento em que a carga está distribuída:

$$Mm_{\text{máx}} = \frac{q \cdot L^2}{2} \quad (4.4)$$

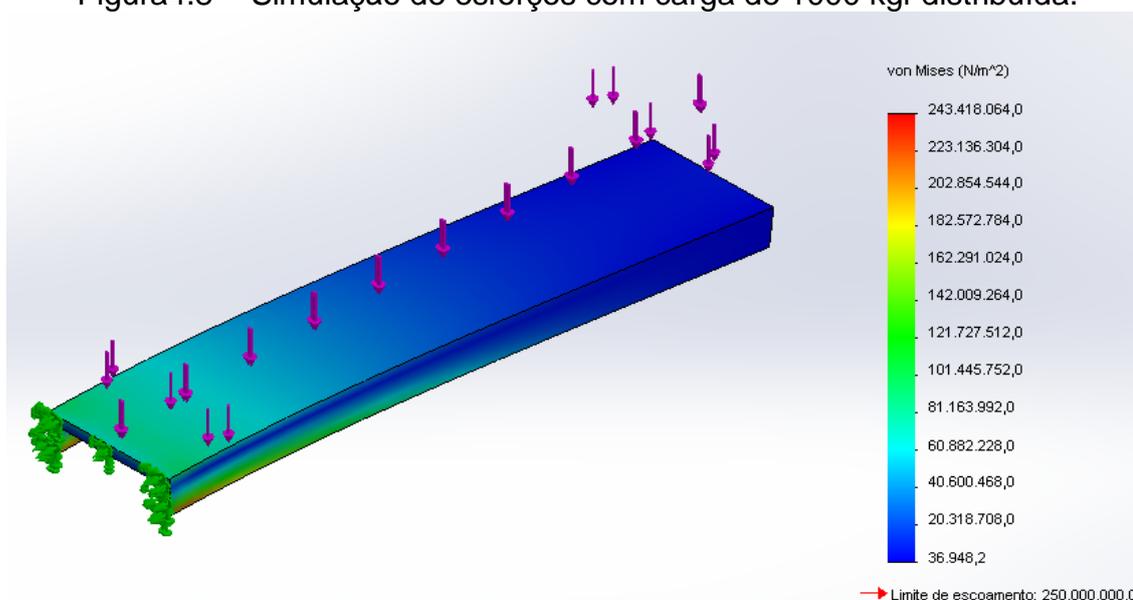
Para uma carga distribuída de 10 kgf.cm e em um comprimento de 100 cm obtém-se um momento máximo de 50000 kgf.cm.

O cálculo para encontrar a tensão máxima e o momento de inércia continua o mesmo, já que, é utilizada a mesma viga de referência. Com um momento máximo de 50000 kgf.cm, um altura $Y_{\text{máx}}$ igual a 5,5cm e o momento de inércia de 110,2 cm⁴, obtém-se uma tensão máxima de 2495,46 kgf/cm² ou 244,72 MPa. Obtém-se a mesma tensão dobrando o valor da carga, porém com a carga distribuída.

Realizou-se uma simulação em software, como mostra a Figura 4.8, onde que, neste software é informado o valor e local da carga aplicada, o ponto de fixação

da viga e o tipo de aço utilizado. A carga aplicada está uniformemente distribuída, 1000 kgf.m, e a viga está fixa em uma extremidade, foi usado o aço ASTM A36, considerando a mesma viga mesmas medidas, comprimento de 100 cm, dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200 mm.

Figura4.8 - Simulação de esforços com carga de 1000 kgf distribuída.

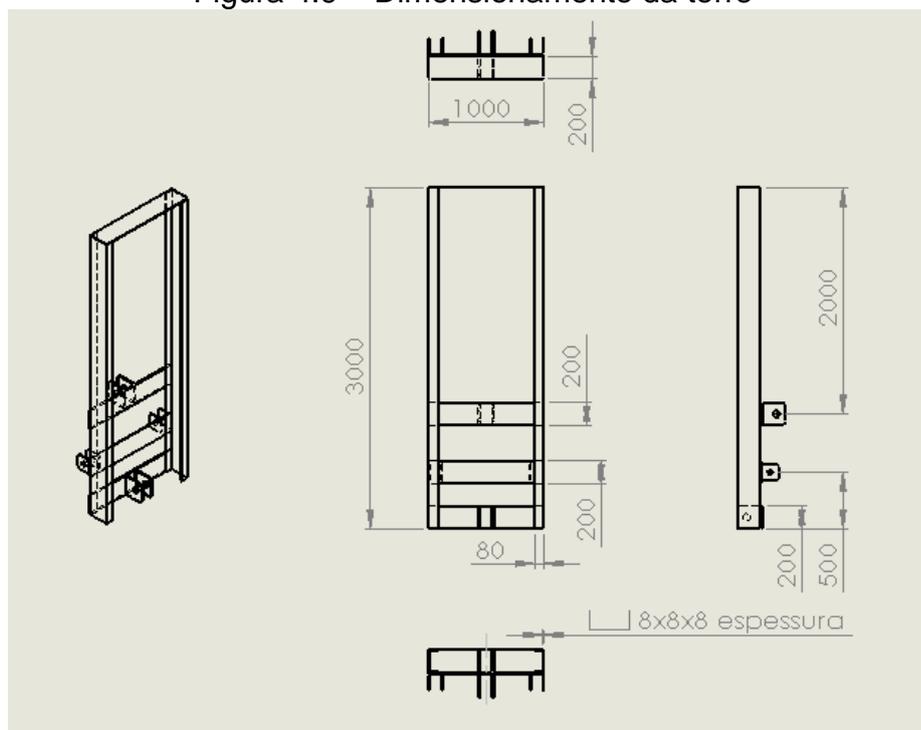


Conforme a simulação no software o valor de tensão máxima é 243.41 MPa está muito próximo do encontrado através de cálculos. Pode ser observado que o ponto de maior tensão está próximo do ponto de fixação do garfo devido o esforço de alavanca submetido na estrutura.

Então através desses resultados é possível dizer que, se a carga for distribuída entre os dois garfos pode ser elevada uma carga de 2000 Kgf.m.

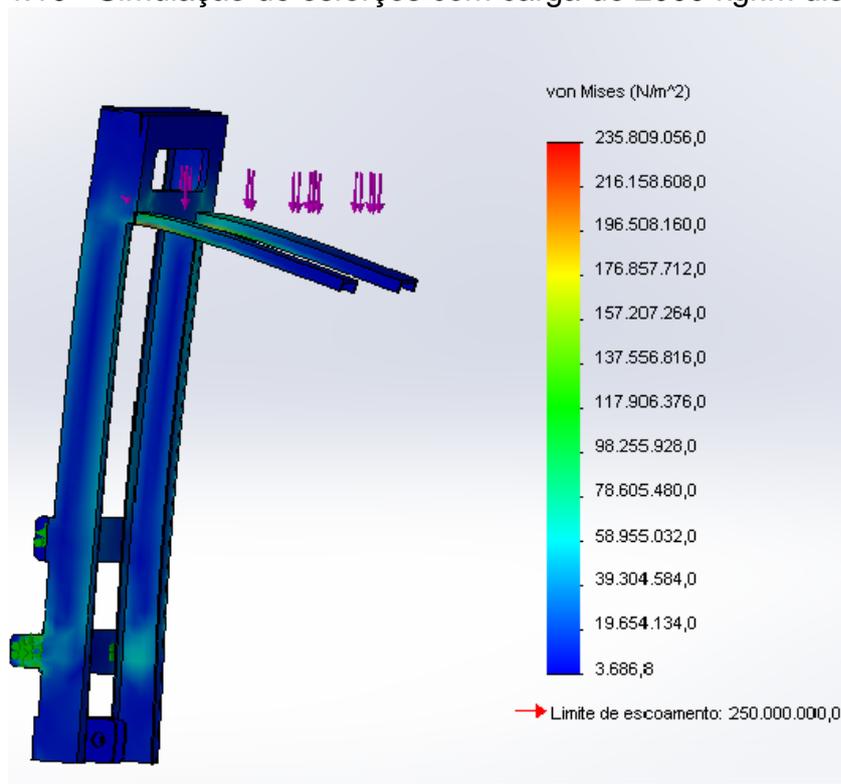
Para o dimensionamento da torre foi realizado apenas simulação em software, sendo definida as medidas das peças que compõe a torre, conforme a Figura 4.9 e ponto de fixação engate de 3 pontas, carga aplicada e material do aço utilizado das peças.

Figura 4.9 – Dimensionamento da torre



Na simulação de software, Figura 4.10 a carga é de 2.000kgf.m distribuída nos dois garfos, sendo os garfos fixos no ponto mais alto da torre, e a torre fixa nos 3 pontos como se estivesse acoplada ao trator, como se estivesse acoplada ao trator.

Figura 4.10 - Simulação de esforços com carga de 2000 kgf.m distribuída.



O valor máximo de tensão para a carga de 2000 kgf.m distribuída entre os dois garfos é de 235 Mpa e o limite de escoamento do material é de 250 MPa, então a carga é suportada sem que ultrapasse o limite de escoamento do material. Logo o dimensionamento da torre é ideal para este tipo de carga.

4.2.3 Coeficiente De Segurança

O coeficiente de segurança serve para determinar quantas vezes um tipo de material com determinadas dimensões pode suportar o peso da carga. A fórmula 4.5 onde (S) é o coeficiente de segurança, ∂E é utilizado limite de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência a tração, (∂T) tensão máxima:

$$S = \frac{\partial E}{\partial T} \quad (4.5)$$

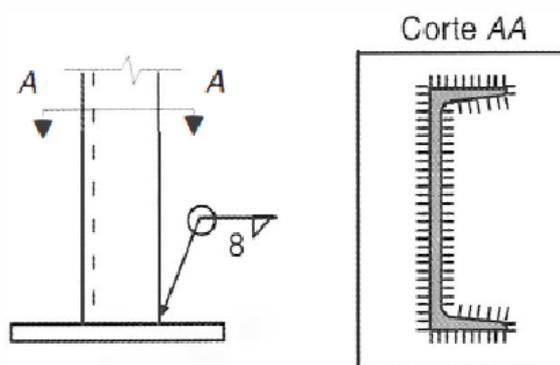
O material dos garfos e torre, suporta o valor da carga, conforme os valores de limites do aço ASTM A36 encontrados Quadro 1 localizado no Anexo A, o limite de escoamento é de 250 MPa, e a tensão máxima da carga é de 249 MPa, obtém-se um coeficiente de segurança de 1,0036. E para um limite de ruptura de 400 MPa, e a

tensão máxima da carga é de 249 MPa, temos um coeficiente S igual a 1,606. Para um limite de elasticidade de 200 GPa, temos um coeficiente S igual a 803,21. O dimensionamento satisfaz a condição ($\partial E > \partial T$).

4. 3 DIMENSIONAMENTO DA SOLDA

O garfo perfil C será soldado a uma placa de aço de 20 mm de espessura, sujeita a tração de 20 KN, solda de filete, dimensões da solda 8 mm de largura do filete. Também utilizando-se eletrodo E60, onde F_w é de 415 Mpa e aço ASTM A 36 com F_y de 250 MPa. Para um perfil C de dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15mm e largura de 200mm.

Figura 4.11 – Desenho da ilustração da solda na viga.



Fonte: PFEIL, 1995, p. 97.

O esforço solicitante de cálculo, admitindo carga variável de utilização pode ser calculado pela Fórmula:

$$S_d = 1,5 * F_t \quad (4.6)$$

Onde S_d é o esforço solicitante e F_t é a Força de tração, com uma força de tração de 20 KN obtém-se um esforço solicitante de 30 KN.

Dimensionamento com solda de filete com lado da solda de 8 mm. Para cálculo com metal base usa-se a seguinte Fórmula:

$$R_d = 0,9 A_m(0,6 f_y) \quad (4.7)$$

Onde R_d é a resistência, A_m é a área do metal base e f_y é a resistência do metal. Para uma área de 4 lados x 5,5 mm x 0,8 mm e uma resistência do metal de 250 N/mm², obtém-se uma resistência de ruptura de 237,6 KN. Para o cálculo com metal da solda usa-se a Fórmula:

$$R_d = 0,75 A_w(0,6 f_w) \quad (4.8)$$

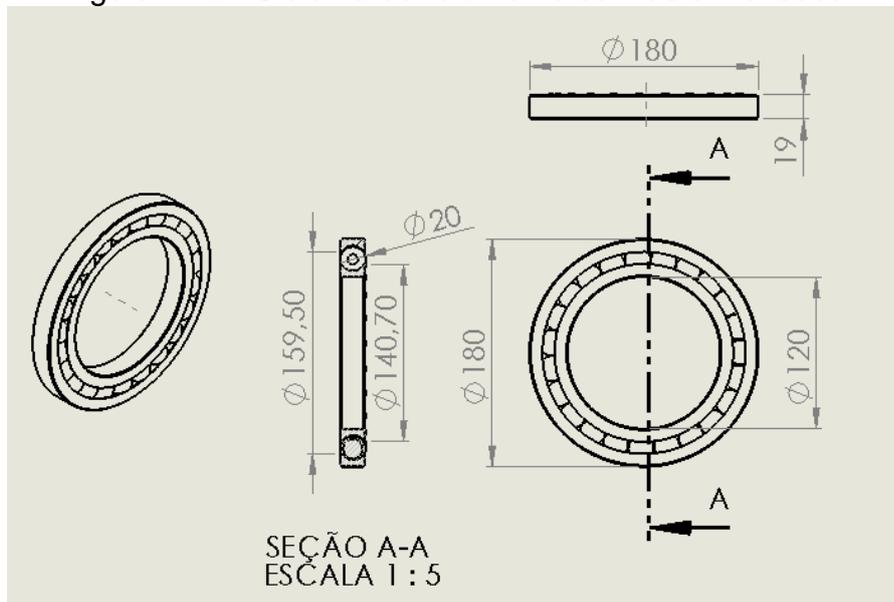
Onde R_d é a resistência, A_m é a área do metal base e f_w é a resistência da solda. Para uma área de 4 lados x 5,5 mm x 0,8 mm e uma resistência da solda de 415 N/mm² obtém-se uma resistência de ruptura de 328,68 KN. O dimensionamento satisfaz com folga a condição ($R_d > S_d$).

4. 4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ROLAMENTO

Os rolamentos são dispositivos utilizados para auxiliar o movimento rotativo de eixos, possuem diversos tipos de rolamentos e para variadas aplicações, tais como: de esfera, roletes (rolos) e de agulha.

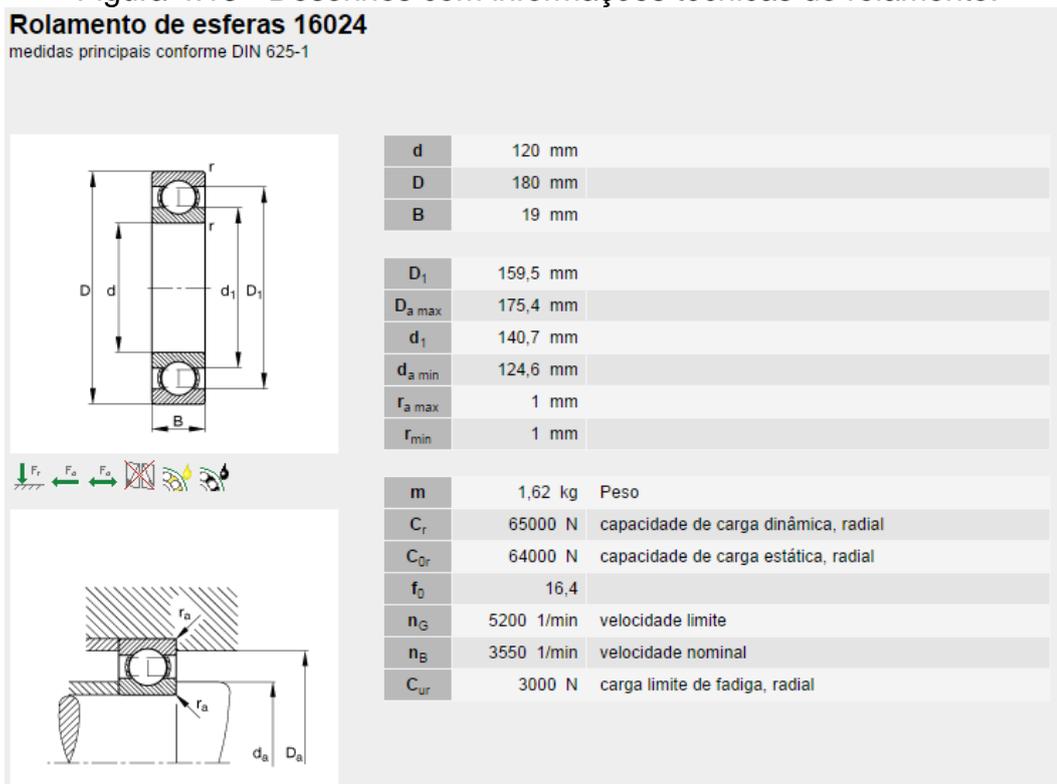
Ao analisar os rolamentos verifica-se que os rolamentos de esferas possuem uma resistência ao atrito menor do que os rolamentos de rolos e uma menor variação de rotação. Os rolamentos de rolo tem capacidade de carga maior, o que seria de melhor escolha para aplicação cargas elevadas, porém optou-se pelo rolamento de esferas, já que, possui menor resistência ao atrito, como ele deve se adequar ao tamanho da torre será um rolamento de tamanho grande e também será dividido em quatro pontos de apoio, então terá a resistência suficiente para suportar a carga, sendo assim não há necessidade de rolamentos de rolos.

Figura 4.12 - Sistema de rolamento com as dimensões.



O sistema de rolamento foi dimensionado com base na largura da torre vertical, ou seja, a torre possui uma largura de 20 cm externamente e 18,4 cm internamente, então o diâmetro desse objeto de rolamento deve ser a essas dimensões, para poder deslizar com facilidade dentro da viga da torre. Neste caso o diâmetro escolhido foi de 18 cm de diâmetro externo, e 19 mm de largura. Para dimensionar o rolamento é desconsiderado o esforço axial, pois neste caso, o esforço submetido no rolamento é radial que será dividido em 4 pontos, consistindo em 4 rolamentos em cada ponto.

Figura 4.13 - Desenhos com informações técnicas do rolamento.



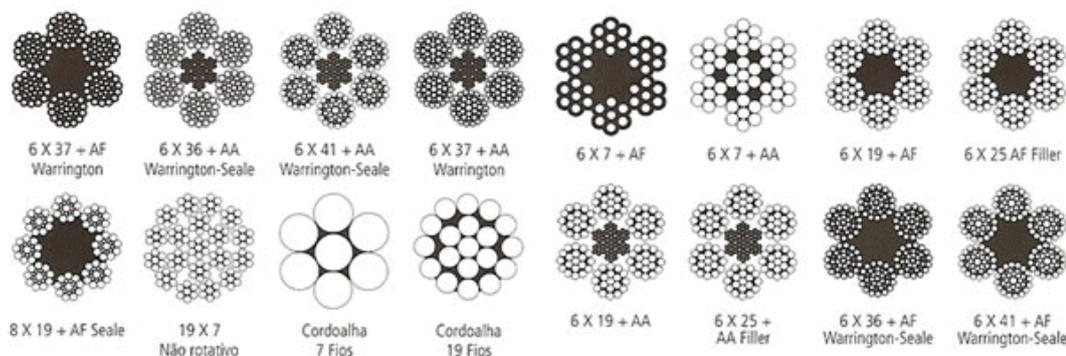
Fonte: Fabrica do Projeto, 2014.

Conforme a figura 4.13, segundo Fabrica do Projeto (2014), o rolamento de esferas 16024, produzido pela SKF, resiste a uma carga dinâmica, radial de 65000 N, ou seja, 6500 kgf, a capacidade de carga estática radial 6400 kgf e o limite de fadiga radial é de 300 kgf, e se multiplicarmos por 8 rolamentos, 2 em cada lado em 4 lados temos um limite de fadiga radial de 2400 kgf.

4. 5 DIMENSIONAMENTO DO CABO DE AÇO E POLIA

Em empilhadeiras podem ser utilizados cabos de aço do tipo Warrington-Seale, que é uma aglutinação do tipo Warrington (composição onde existe pelo menos uma camada constituída de arames de dois diâmetros diferentes e alternados) e do tipo Seale (onde as camadas são organizadas em fios grossos e finos, Figura 4.14. Na composição "Seale" existem pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames). O cabo Warrington-Seale possui as principais características de cada composição, proporcionando ao cabo alta resistência à abrasão conjugado com alta resistência à fadiga de flexão.

Figura 4.14 – Tipos de cabos de aço.



Fonte: Cablemax, 2014.

O coeficiente de segurança Tabela 1 em Anexos A, para cabos de empilhadeiras o fator de segurança é de 6 a 8 (neste caso vamos usar 7).

$$F_{\min} = \text{Peso da carga} * \text{Fator de segurança} \quad (4.9)$$

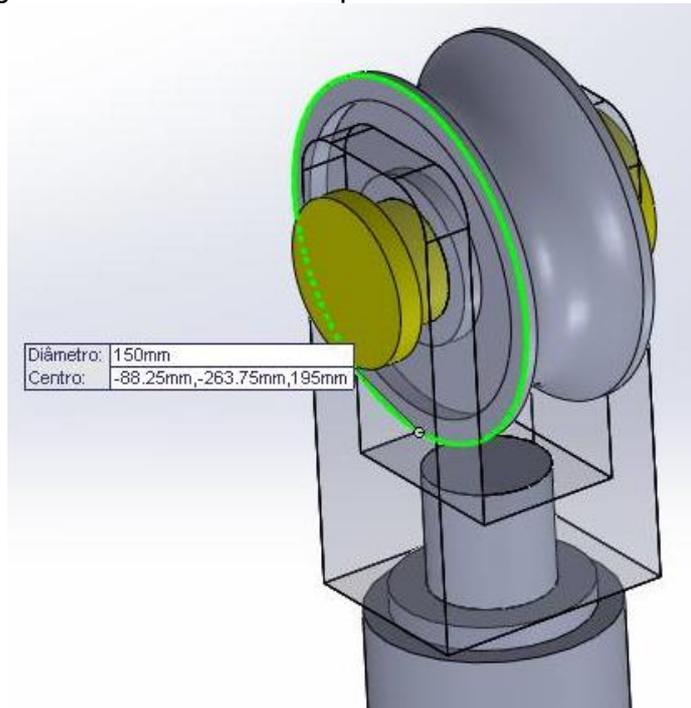
Com uma elevação de carga de 1000 kg, carga mínima de ruptura é de 7000 kgf, de acordo com a tabela 2 em Anexos A, para uma carga de ruptura entre 7383 kgf e 8767 kgf, neste caso vai ser utilizado esta carga porque é mais próxima e acima de 7000 kgf, o cabo tem o diâmetro de 7/16" ou 11,1125 mm.

Como este cabo está calculado para 1000 kgf, para 2000 kgf utiliza-se dois cabos, ou no caso de um cabo a carga de ruptura para este é de 14000 kgf. Então será utilizado um cabo de 5/8" ou 15,875 mm, conforme Tabela 2 que está localizada no Anexo A.

O comprimento do cabo será de 2,5 metros, ao qual essa é a medida do ponto de fixação da torre que fica próximo do terceiro ponto e o ponto de fixação nos garfos parte superior central.

A polia é baseada no diâmetro do cabo, ou seja, dez a quinze vezes esse valor, então terá aproximadamente 150 mm de diâmetro, Figura 4.15.

Figura 4.15 - Desenho da polia em 3D com dimensões



4. 6 CILINDRO HIDRÁULICO

O cilindro hidráulico é um componente muito importante, pois é o responsável pelo movimento da carga através do sistema hidráulico do trator. Inicia-se com um cálculo para dimensionar o pistão ou cilindro hidráulico, onde F é peso que será suportado pelo cilindro, que é a carga máxima a ser elevada de 2000 kgf e P é a pressão do óleo hidráulico na saída do trator, que será acoplado ao cilindro hidráulico, a pressão do trator é de 180 kgf/cm².

Através da fórmula 4.10 é possível encontrar a área do pistão para elevar a uma determinada carga, em uma determinada pressão:

$$F = P * A \quad (4.10)$$

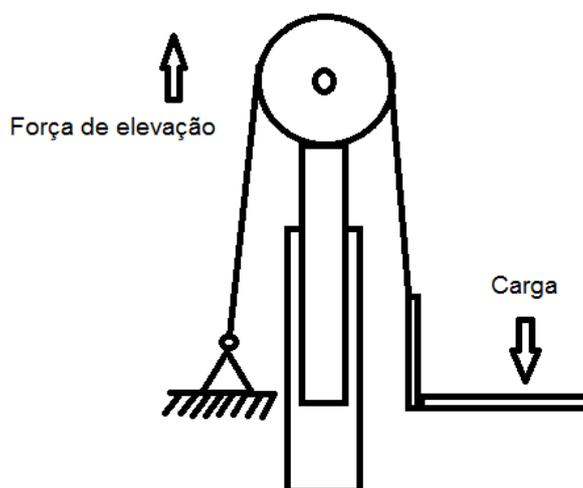
Utilizando a fórmula 4.10 é possível encontrar uma área de 11,11cm², então encontra-se o valor do diâmetro do êmbolo do pistão através da fórmula 4.11:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (4.11)$$

Para elevar a carga o diâmetro da haste ou do êmbolo do pistão deve ter no mínimo 38 mm, é o diâmetro necessário para pressão do sistema hidráulico do trator suspender a carga.

O curso da haste deverá ter a metade da distância percorrida pelo cabo. Pois a distância percorrida pela haste é igual a metade da altura ao qual a carga é elevada. Pois o cabo é fixo em uma ponta e a outra eleva a carga pelo movimento da haste do cilindro.

Figura 4.16 – Sistema de elevação da carga.



Para calcular o comprimento da haste do cilindro é dada a fórmula:

$$\frac{\text{Distância do cabo}}{2} = \text{distância percorrida pela haste} \quad (4.12)$$

Como o cabo é preso a 0,5 metros acima da base da torre temos a distância do cabo de 2,5 metros logo o comprimento da haste é de 1,25 metros.

Com todos os itens da empilhadeira dimensionados, então a os resultados estão prontos e o trabalho pode ser concluído.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta pesquisa partiu de uma pesquisa bibliográfica, aplicação do processo de metodologia, tendo como objetivo desenvolver um projeto sobre uma empilhadeira acoplada em um trator, a qual foi atendida conforme apresentação dos resultados. Todos os cálculos e simulações resultaram em um valor esperado para suportar a carga em uma situação de máxima dificuldade, ou seja, em uma situação extrema quando a carga é elevada até a altura máxima de 3 metros, com carga máxima de 2000 Kgf.m distribuído.

A revisão de literatura apresentou as partes principais que devem ser projetadas em uma empilhadeira, além de conceitos fundamentais sobre tratores, explicando suas multifuncionalidades, como o levante de três pontos necessário para acoplar a empilhadeira.

Neste trabalho foi concluído que há a possibilidade de se projetar um equipamento de elevação e transporte de carga, que seja acoplável a um trator, eliminando a necessidade de uma máquina empilhadeira para estes serviços, este tipo de equipamento se torna mais viável para quem já possui um trator que pode ser também usado em outras operações.

Através das informações encontradas nos resultados é possível utilizar diferentes quantidades de cargas sobre os garfos, sem que atinja o limite de escoamento, de ruptura e limite elástico do aço ASTM A36, porém deve ser levado em conta a forma como a carga fica distribuída.

Também pode ser observado que, se usarmos dois cabos de aço para o sistema de levantamento da carga, o diâmetro do cabo pode ser reduzido, podendo assim, elevar a carga da mesma forma, sem que o mesmo venha se romper.

Então pode-se dizer, que o dimensionamento chegou a um resultado esperado, cujo objetivo é de erguer a carga e ao mesmo tempo, todas as peças e partes do equipamento suportar a carga com tolerâncias acima do que a carga aplicada faz o equipamento ser submetido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABLEMAX. **Tabela de cabos de aço.** Disponível em: <<http://www.cabosdeacocablemax.com.br/tabela-de-cabos-de-aco.htm>> Acesso em 10 Out. 2014.

CARVALHO, Iuri Rossi Simões. **Projeto de uma Empilhadeira Manual de Barcos à Vela do Tipo Dingue e Optimist.** Projeto de Graduação Engenharia Mecânica. UFRJ - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2013. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007851.pdf>> Acesso em: 21 out. 2013.

FABRICA DO PROJETO. **Cálculo e Seleção de Mancais e Rolamentos.** Disponível em:<<http://www.fabricadoprojeto.com.br/2014/01/calculos-online-calculo-de-selecao-e-calculo-de-mancais-e-rolamentos/>> Acesso em 01 out. 2014

FERNANDES, Haroldo Carlos et al. **Mecânica e Mecanização Agrícola.** Apostila de Aulas Práticas. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola. 2013. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAM3YAE/mecanica-mecanizacao-agricola>> Acesso em: 23 out. 2013.

KABUKI. **EMPILHADEIRAS.** 2013. Disponível em: <<https://plus.google.com/117593292446579373587/posts>> Acesso em: 22 out. 2013.

PANNONI, F. D. **Aços estruturais.** Disponível em:<www.gerdau.com.br/arquivos-tecnicos/12.brasil.es-ES.force.axd> Acesso em 5 nov. 2013.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Aço.** 6. ed. Rio de Janeiro: S. A. Travessa do Ouvidor, 1995.

SAMIAÇO. **Distribuidora de ferro e acessórios Ltda. Produtos. Viga U.** Disponível em: <<http://www.samiaco.com.br/Viga-U.html>> Acesso em 11 nov. 2013.

SAUR. **Torre de Elevação Traseira para Tratores.** Disponível em: <<http://www.saur.com.br/pt/industrial/equipamentos-de-movimentacao-para-empilhadeiras-tratores-e-carregadeiras/m-torre-de-elevacao-traseira-para-tratores>> Acesso em 03 nov. 2014.

ANEXO A

Quadro - 1 Nomenclatura dos aços.

Tipo de aço	Teor de Carbono (%)	Limite de elasticidade f_{el} (GPa)	Limite de escoamento f_y (MPa)	Limite de resistência à tração f_u (MPa)	Alongamento (%)
ASTM-A-36	0,25 a 0,30	200	250	400 a 500	20
Comercial	–	± 190	± 240	370 a 520	20
ASTM-A570	0,25	185	230	360	23
SAE 1008	0,08	135	170	305	30
SAE 1010	0,10	145	180	325	28
SAE 1020	0,20	170	210	380	25
SAE 1045	0,45	250	310	560	17
ASTM-A242	< 0,22	250	290 a 350	435 a 480	18
ASTM-A441	–	220 a 275	275 a 345	415 a 485	± 18
ASTM-A572	–	220 a 275	290 a 345	415 a 450	± 18
ASTM-A588	–	230 a 280	290 a 350	415 a 450	± 18
COR-TEN A/B	–	275	345	480	± 19
COR-TEN C	–	330	415	550	± 19
ABNT MR250	–	200	250	400	
ABNT MR290	–	230	290	415	
ABNT MR345	–	275	345	450	

Fonte: Pannoni,2013,p.3.

Quadro - 2 Classificação dos aços quanto a soldabilidade.

Tipo de aço	Classe do aço	Soldabilidade	Pré Aquecimento	Recozimento*
I	Aço Carbono C < 0,30 %	Facilmente soldável	Não	Não
	Baixo teor de liga C < 0,15 %	Facilmente soldável	Não	Não
II	Aço Carbono; teor de C. de 0,30 a 0,50%	Soldável com precaução	Aconselhável	Aconselhável
	Baixo teor de liga C entre 0,15 e 0,30 %	Soldável com precaução	Aconselhável	Aconselhável
III	Aço Carbono C > 0,50 %	Soldagem difícil	Necessário	Necessário
	Teor de liga > 3 % C > 0,30 %	Soldagem difícil	Necessário	Necessário

Fonte: Pannoni,2013,p.4.

Tabela - 1 Fator de segurança cabos de aço.

Aplicações	Fator de Segurança
Cabos estáticos	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes, escavadeiras	5
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas e outras	7
Guindastes estacionários	6 a 8
Laços	5 a 6
Elevadores de obra	8 a 10
Elevadores de passageiro	12

Fonte:Cablemax,2014.

Tabela - 2 Tabela de Cabos de Aço.

BITOLA	TABELA DE PESO						TABELA IPS						TABELA EIPS										
	PESO EM Kg POR METRO LINEAR												CARGAS DE RUPTURAS - RESISTÊNCIA 1770 N/mm ² (IPS) em Kgf						CARGAS DE RUPTURAS - RESISTÊNCIA 1960 N/mm ² (EIPS) em Kgf				
DIÂMETROS	6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41								
Polegadas	Pol.	mm	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI	AF/AFA	AA/AACI							
	1/16"	1,59	0,012	0,013	0,012	0,013	151	163	151	163	167	181	167	181	167	181							
	5/64"	1,99	0,014	0,015	0,014	0,015	236	255	236	255	261	283	261	283	261	283							
	3/32"	2,38	0,019	0,021	0,019	0,021	340	367	340	367	376	407	376	407	376	407							
	1/8"	3,18	0,034	0,037	0,034	0,037	604	653	604	653	669	723	669	723	669	723							
	5/32"	3,97	0,054	0,061	0,054	0,061	944	1.021	944	1.021	1.045	1.130	1.045	1.130	1.045	1.130							
	3/16"	4,76	0,078	0,086	0,078	0,086	1.359	1.469	1.359	1.469	1.505	1.627	1.505	1.627	1.505	1.627							
	1/4"	6,35	0,140	0,154	0,140	0,154	2.416	2.613	2.416	2.613	2.676	2.893	2.676	2.893	2.676	2.893							
	5/16"	7,94	0,221	0,244	0,221	0,244	3.778	4.085	3.778	4.085	4.183	4.523	4.183	4.523	4.183	4.523							
	3/8"	9,53	0,310	0,341	0,310	0,341	5.442	5.885	5.442	5.885	6.026	6.517	6.026	6.517	6.026	6.517							
	7/16"	11,10	0,430	0,473	0,430	0,473	7.383	7.983	7.383	7.983	8.176	8.840	8.176	8.840	8.176	8.840							
	1/2"	12,70	0,570	0,627	0,570	0,627	9.665	10.451	9.665	10.451	10.702	11.573	10.702	11.573	10.702	11.573							
	9/16"	14,30	0,710	0,781	0,710	0,781	12.254	13.250	12.254	13.250	13.569	14.672	13.569	14.672	13.569	14.672							
	5/8"	15,90	0,880	0,968	0,880	0,968	15.149	16.381	15.149	16.381	16.775	18.139	16.775	18.139	16.775	18.139							
	3/4"	19,10	1,250	1,380	1,250	1,380	21.860	23.638	21.860	23.638	24.207	26.176	24.207	26.176	24.207	26.176							
	7/8"	22,20	1,710	1,880	1,710	1,880	29.532	31.934	29.532	31.934	32.702	35.362	32.702	35.362	32.702	35.362							
	1"	25,40	2,230	2,450	2,230	2,450	38.660	41.804	38.660	41.804	42.810	46.291	42.810	46.291	42.810	46.291							
	1.1/8"	28,60					3.170	3.480															
	1.1/4"	31,80					3.910	4.300															
	1.3/8"	34,90					4.730	5.210															
	1.1/2"	38,00					5.630	6.190															

Fonte:Cablemax,2014.