



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MARIA LUÍSA MENDES MOREIRA

**PROJETO PRELIMINAR DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PORTÁTIL
PARA VEÍCULOS DE ATÉ 3500 KG.**

MOSSORÓ-RN

2018

MARIA LUÍSA MENDES MOREIRA

**PROJETO PRELIMINAR DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PORTÁTIL
PARA VEÍCULOS DE ATÉ 3500 KG.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA, Campus Mossoró para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar – UFERSA.

MOSSORÓ-RN

2018

Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

M835p Mendes Moreira, Maria Luisa.
PROJETO PRELIMINAR DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO
PORTÁTIL PARA VEÍCULOS DE ATÉ 3500 KG. / Maria
Luisa Mendes Moreira. - 2018.
62 f. : il.

Orientador: Zoroastro Torres Vilar.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2018.

1. Elevador Automotivo. 2. Projeto. 3.
Simulação. 4. CAD. I. Torres Vilar, Zoroastro,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA LUÍSA MENDES MOREIRA

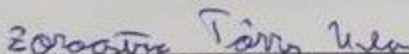
**PROJETO PRELIMINAR DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO PORTÁTIL
PARA VEÍCULOS DE ATÉ 3500 KG.**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Zoroastro Torres
Vilar – UFERSA.

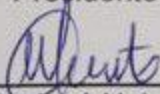
APROVADA EM 14/09/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar

Presidente



Prof. Dr. Fabricio José Nobrega Cavalcante

Primeiro Membro



Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros

Segundo Membro

Dedico este trabalho aos meus pais, Waldemar e Mônica Carla, e a meus irmãos, Maria Clara, João Vitor e Maria Amélia, que estão sempre presentes em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me incentivaram a buscar conhecimento e acreditaram no meu potencial. Agradeço a Deus por ter me ajudado em toda esta minha caminhada rumo a minha formação, sem ele não teria conseguido chegar até onde cheguei.

A Prof. Dr. Zoroastro que foi um grande orientador, sempre dedicado e pronto para ajudar, além de ser um excelente profissional. Obrigada por ter me dado a oportunidade de trabalhar com você.

A todos os meus amigos que fazem parte dessa grande caminhada, em especial a Paula Caminha, que caminhou especialmente junto comigo nesse projeto sempre pronta a ajudar, obrigada!

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica, em que pude levar comigo de conhecimento de cada um deles.

RESUMO

Os elevadores automotivos são equipamentos que facilitam na montagem e manutenção de veículos. Comumente para sua elevação completa faz-se necessário equipamentos específicos que normalmente são encontrados em oficinas mecânicas devido à sua complexidade e robustez. Tornando interessante o estudo de um equipamento mais simplificado e de fácil manuseio. Durante a evolução dessa pesquisa será possível dimensionar um elevador automotivo portátil capaz de elevar completamente o veículo de uma forma simples e segura. Para o desenvolvimento dessa pesquisa será realizado estudo de caso, mercado e uso de ferramentas CAD a fim de simular e auxiliar na previsão do comportamento do equipamento. O presente projeto busca unir conhecimento em processos de fabricação com as necessidades encontradas no mercado e assim analisar a viabilidade do dimensionamento e melhores formas de construção do mecanismo. De acordo com a resposta obtida a partir da implantação da metodologia adotada espera-se ao término desse projeto um correto dimensionamento a fim de garantir simplicidade, eficácia e segurança.

Palavras Chaves: Elevador automotivo. Projeto. Simulação. CAD.

ABSTRACT

Automotive lifts are equipment that facilitates the assembly and maintenance of vehicles. Commonly for its complete elevation makes if necessary specific equipment that are usually found in mechanical workshops due to its complexity and robustness. It makes interesting the study of a more simplified and easier to handle equipment. During the evolution of this research it will be possible to size a portable automotive lift capable of completely raising the vehicle in a simple and safe way. For the development of this research will be carried out a case study, market and use of CAD tools to simulate and help predict the behavior of the equipment. The present project seeks to unite knowledge in manufacturing processes with the needs found in the market and thus to analyze the viability of the design and better ways of building the mechanism. According to the response obtained from the implementation of the methodology adopted, it is expected that at the end of this project a correct dimensioning in order to guarantee simplicity, effectiveness and safety.

Keywords: Automotive lift. Project. Simulation. CAD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elevador automotivo pórtico	19
Figura 2: Elevador automotivo pantográfico	19
Figura 3: Elevador automotivo com pranchas	20
Figura 4: Parafuso de Potência	21
Figura 5: Rosca	22
Figura 6: Coeficiente de flambagem	23
Figura 7: Matriz QFD	29
Figura 8: Comprimento da haste	30
Figura 9: Força máxima	31
Figura 10: Perfil da haste	32
Figura 11: Análise de forças e torque	36
Figura 12: Inversor	39
Figura 13: Motor de passo NEMA 42	40
Figura 14: Elevador automotivo	42
Figura 15: Malha do elevador	43
Figura 16: Malha do elevador aproximada	43
Figura 17: Malha parafuso de potência	44
Figura 18: Elevador pantográfico MD- 6XP	45
Figura 19: Elevador pantográfico ERH3500TSA	46
Figura 20: Elevador pantográfico MR 2700	47
Figura 21: Tensão de escoamento nos braços	48
Figura 22: Tensão de escoamento no parafuso	49
Figura 23: Coeficientes dos Materiais	55
Figura 24: Propriedades Mecânicas	55

Figura 25: Dimensões	58
Figura 26: Deformação total elevador	59
Figura 27: Deformação total Parafuso de potência	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Esforço na haste	31
Gráfico 2: Esforço no parafuso.....	33
Gráfico 3: Torque x Angulação.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diâmetros calculados	34
Tabela 2: Especificações MD-6XP	44
Tabela 3: Especificações ERH3500TSA	45
Tabela 4: Especificações MR 2700	46
Tabela 5: Comparativo de tensões.....	49

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Orçamento.....	50
Quadro 2: Especificações do projeto.....	51
Quadro 3: Força no parafuso	56
Quadro 4: Especificações das forças	56
Quadro 5: Torque e velocidade	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 ELEVADORES AUTOMOTIVOS	18
2.2 ELEMENTOS DE MÁQUINAS	20
2.2.1 Parafusos de Potência	21
2.3 RESISTÊNCIA E ESFORÇOS.....	23
2.3.1 Flambagem	23
2.3.2 Tensão de cisalhamento	24
2.3.3 Compressão	24
2.4 SELEÇÃO DO MATERIAL	25
2.5 ANÁLISE DO MECANISMO	25
2.5.1 Elementos Finitos	26
2.6 DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)	26
3 METODOLOGIA	28
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	28
4.1 ANÁLISE DA MATRIZ QFD	29
4.2 CONFIGURAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	30
4.3 PROJETO DO PARAFUSO DE POTÊNCIA.....	32
4.4 ANÁLISE PARA SUPORTAR A COMPRESSÃO	33
4.5 ANÁLISE PARA SUPORTAR O CISALHAMENTO	34
4.6 ANÁLISE PARA SUPORTAR A FLAMBAGEM.....	34
4.7 COEFICIENTE DE ATRITO	35
4.8 CÁLCULOS DO L E P.....	35
4.9 CÁLCULOS DAS FORÇAS E TORQUES	36
4.10 EFICIÊNCIA.....	37
4.11 SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS	37
4.12 DIMENSIONAMENTO DOS PINOS.....	38
4.13 SELEÇÃO DO MOTOR E INVERSOR	38
4.14 CÁLCULO DO TEMPO DE SUBIDA.....	41

4.15 CAIXA DE REDUÇÃO	41
4.16 LUBRIFICAÇÃO.....	41
4.17 ANÁLISE NUMÉRICA.....	41
4.17.1 Construção do Modelo	41
4.17.2 Malha.....	42
4.17.3 Setup.....	44
4.18 COMPARAÇÃO COM O MERCADO	44
5 RESULTADOS E DISCURSÕES.....	48
6 CONCLUSÃO	52
7 REFERÊNCIAS.....	53
ANEXO A.....	55
ANEXO B.....	56
ANEXO C.....	58
ANEXO D.....	60

1 INTRODUÇÃO

O processo de manutenção em carros atualmente se tornou algo rotineiro na vida das pessoas, então é cada vez mais importante a execução dessa manutenção sem a necessidade de o dono do automóvel recorrer a oficinas para tal função. Para isso foi necessário a execução de um projeto. Segundo Norton (2004), um projeto pode ser frustrante apresentando problemas não planejados, mas pode ser resolvido através da criação de uma estrutura que o torne solucionável.

Por isso esse trabalho tem como objetivo desenvolver um mecanismo mais simples para que possa facilitar significativamente a realização de manutenção de veículos sem que seja necessário o direcionamento para uma oficina mecânica justificando assim o desenvolvimento dessa pesquisa. Além de utilizar ferramentas CAD, para o estudo do comportamento dinâmico do projeto e assim poder antecipar possíveis problemas e sua viabilidade de fabricação de acordo com as necessidades do mercado.

Esse trabalho será embasado em artigos científicos e livros para a elaboração da fundamentação teórica que servira como base para colocar a metodologia que será adotada em prática. Será realizada simulação do mecanismo utilizando o software Autodesk Inventor para uma melhor previsão dos esforços existentes no elevador. Realizar-se-á estudo de mercado para verificar a necessidade desse equipamento no mercado nacional. E assim a partir dessas etapas, será possível prevê o comportamento dinâmico do projeto e sua viabilidade.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de elevador automotivo através de conhecimento em processos de fabricação e analisar o custo benefício do produto. Resultando em um produto simples, barato e seguro quando comparado com o mercado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudo e análise da matriz QFD;
- Seleção dos materiais mais adequados ao projeto;
- Utilização do uso software Autodesk Inventor e ANSYS *Workbench*.[®] para o desenvolvimento e simulação do elevador;
- Análises de custos;
- Análise da segurança do projeto;
- Apresentar o memorial de cálculo;
- Desenho 3D.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para dar início a essa sessão é necessário a definição do que seria um projeto de engenharia. O processo deve ser abordado de forma detalhada, onde prevê e direciona como, quando e por quem as operações serão realizadas, além das tomadas de decisões, entre outros fatores que fazem toda a diferença no produto. A pressa para um desenvolvimento precoce, sem considerar amplamente todos os problemas e soluções possíveis, pode levar a excessos de trabalho e de custos.

2.1 ELEVADORES AUTOMOTIVOS

Com o surgimento e popularização dos automóveis, o aparecimento do primeiro veículo, em 1885, produzido pelo engenheiro alemão Karl Benz e anos mais tarde a criação do Ford T pelo Henry Ford surgiu a necessidade de se realizar a manutenção nestes veículos. A partir disso o surgimento dos elevadores automotivos ocorreram de forma gradual, estes que são atualmente equipamentos amplamente utilizados em oficinas mecânicas para a elevação de veículos visando a melhorar e facilitar o processo de manutenção.

O elevador hidráulico foi inventado ainda no século XIX, pelo engenheiro Richard Dudgeon. Foi a partir do Princípio de Pascal, que é conhecido pelo mecanismo, onde há pressão exercida em um líquido em equilíbrio e esta é transmitido integralmente a todos os pontos do líquido bem como às paredes do recipiente em que ele está contido e assim com a diminuição da área em algumas partes do sistema vai fazer com que haja a elevação do carro. A ativação do sistema se dá por meio de um motor elétrico fazendo com que essa força consiga movimentar os cilindros presentes no sistema. (WHITE, 2004)

Os elevadores automotivos podem ser divididos em três dos mais utilizados nas oficinas, que são os elevadores pórticos, pantográficos e o com pranchas.

Figura 1: Elevador automotivo pórtico



Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>
Acesso em: 15 abril 2018

O elevador automotivo modelo pórtico é conhecido pela praticidade do piso livre e um alto ganho na produtividade, representado pela figura 1.

Figura 2: Elevador automotivo pantográfico



Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>
Acesso em: 15 abril 2018

Já na figura 2 tem se os elevadores pantográficos que são vistos cada vez mais frequente nas oficinas principalmente pelo ganho de espaço e por conseguirem pegar carros bem baixos.

Figura 3: Elevador automotivo com pranchas



Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>
Acesso em: 15 abril 2018

Utilizado muito em oficinas, o elevador automotivo modelo com prancha tem como vantagem o ganho de tempo devido ao posicionamento dos veículos, agilizando o serviço dos operadores.

2.2 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

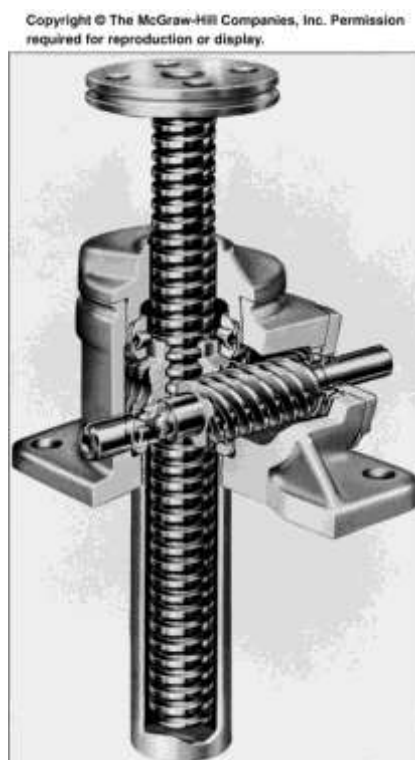
Segundo Norton (2014), elementos de máquinas são peças que se relacionam para obtenção de um projeto. É necessário fazer o estudo de cada peça individualmente, visando a função e desempenho de cada uma, mas sempre levando em consideração que cada uma está relacionada entre si, observando sempre que é necessário também ter a visão do projeto como um todo. Assim podendo dimensionar e escolher o material de cada elemento de máquina para chegar ao objetivo final do trabalho.

Ainda segundo Norton (2004), o projeto de um elevador automotivo leva em consideração diversas técnicas e normas específicas, onde grande parte dessas normas técnicas são padronizadas, havendo também normas bem específicas para cada tipo de aplicação. Essas padronizações são utilizadas para melhorar a forma de execução de um trabalho, considerando a maneira mais segura e confiável de se garantir a qualidade final de qualquer projeto.

2.2.1 Parafusos de Potência

Parafuso é um dispositivo que possui um sulco helicoidal ao longo de seu comprimento, e trabalha associado a um furo roscado. Pode possuir rosca direita ou esquerda, sendo que a direita é no sentido horário e a esquerda anti-horário, a direita é mais usada, e quando se gira o parafuso no sentido horário, o mesmo avança no sentido do furo roscado. (SHIGLEY, 1986)

Figura 4: Parafuso de Potência



Fonte: Shigley (1986)

Existem parafusos de rosca simples, ou múltipla, sendo que a grande maioria é fabricada de forma simples, e a múltipla aplica-se quando se utiliza dispositivos no qual se deseja obter um avanço mais rápido com pouca resistência.

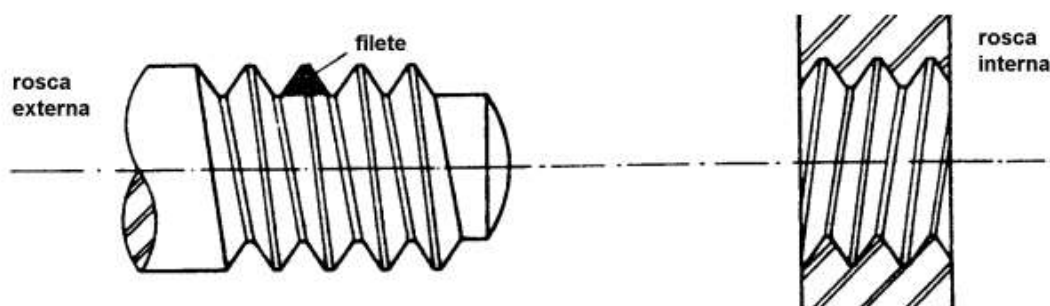
Os perfis de roscas são os mais variados, como Witworth, métrico, redondo, quadrado, trapezoidal e dente de serra. Witworth e métrico são usados para sistema parafuso-porca, redondo para lâmpadas e fusos de precisão, quadrada e trapezoidal para morsa e macacos e a dente de serra emprega-se em mecanismos que se deseja dificultar o movimento em um sentido e facilitar em outro.

De acordo com o perfil da rosca define-se o tipo da mesma. E os mais comuns, Witworth e métrica, estão normalizados, de forma que seus valores como

diâmetro, passe, ângulo de filete, forma de crista e raiz já estão definidos por normas como ISSO, AISI, ABNT. O passo é caracterizado na rosca simples como a distância entre duas cristas consecutivas, e se a rosca for dupla, no dobro do passo.

Segundo Lordes (1996), a definição de rosca, Figura 5, é uma saliência, denominada filete, de perfil, sendo ela constate e helicoidal, pode ser externa ou interna ao redor de uma superfície cilíndrica ou cônica.

Figura 5: Rosca



Fonte: Lordes (1996)

Segundo Norton (2004), as roscas mais utilizadas são a quadrada, acme (trapezoidal) e botaréu. A rosca quadrada provê rigidez e eficiência elevadas, porém seu corte é mais difícil, por ser perpendicular. Uma forma de aplicação deste parafuso é no macaco, para levantamento de cargas.

A porca é girada pela aplicação de torque T e o parafuso se move para cima para levantar a carga P ou para baixo para baixa-la. Deve haver algum atrito na superfície de carga para evitar que o parafuso rode com a carga. Uma vez que a carga esteja fixada, isto não é problema. Alternativamente, o parafuso poderia ser girado contra uma porca fixa para levantar a carga. Em ambos os casos, existirá um atrito significativo entre o parafuso e a porca, bem como entre a porca e a base, sendo, portanto necessária a utilização de um mancal axial. Se um mancal axial simples (que não roda) for utilizado, é possível gerar na interface com o mancal um torque de atrito maior do que aquele presente nas roscas. Mancais axiais de esferas são utilizados frequentemente neste tipo de aplicação para reduzir perdas. (Norton, 2004).

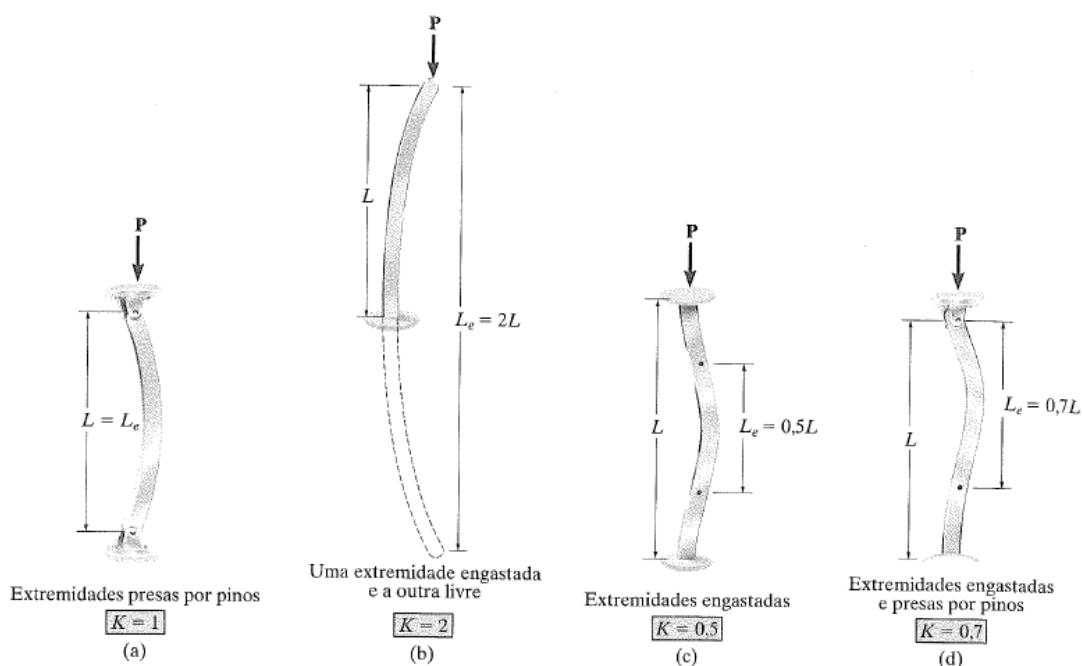
2.3 RESISTÊNCIA E ESFORÇOS

Segundo Hibbler (2011), para a determinação da resistência do material utiliza-se como meio de avaliação a capacidade dele de suportar a carga sem deformação excessiva ou ruptura. Os principais testes referentes a este tipo de questão, são os testes de tração e compressão, no qual através deles pode se identificar propriedades importantes do material.

2.3.1 Flambagem

Flambagem é denominada por uma carga axial que faz com que a peça perca a estabilidade que pode ser observada através do seu encurvamento. De acordo com o tipo de engaste da extremidade o coeficiente de flambagem (K) é modificado, os valores podem estão exemplificados na Figura 6.

Figura 6: Coeficiente de flambagem



Fonte: Hibbler (2011).

O cálculo da carga de flambagem foi determinada pelo Suíço Leonard Euler (1707 -1783) e é dita pela Equação 1:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (1)$$

Dados:

K – Coeficiente de flambagem

P_{cr} – Carga crítica

E – Modulo de elasticidade

I – Menor momento de inercia para a área de seção transversal

2.3.2 Tensão de cisalhamento

O cisalhamento é o resultado de distribuição de tensão de cisalhamento transversal que atua sobre uma seção transversal do material rígido. (HIBBLER, 2011)

Segundo Shigley (1986), as tensões nominais de corpo em parafusos de potência podem ser relacionadas aos parâmetros de roscas. A tensão nominal máxima de cisalhamento pode ser representada pela Equação 4:

$$\tau = \frac{T \times r}{J_o} \quad (2)$$

Dados:

τ – Limite de resistência de cisalhamento

T -Momento de torção

2.3.3 Compressão

Compressão pode ser definida como uma pressão exercida por uma força sobre um corpo, tendendo a aproximar as partes que o compõem; ato ou efeito de reduzir o volume de uma substância por meio de pressão (SHIGLEY, 1986). Seu cálculo é dado a partir da seguinte Equação:

$$\sigma = \frac{F_p}{A} \quad (3)$$

Dados:

F_p – Força máxima do parafuso

A - Área da seção

σ – Limite de escoamento

2.4 SELEÇÃO DO MATERIAL

Inicialmente para o desenvolvimento do projeto do elevador automotivo é necessário que selecione os melhores materiais para o tipo de aplicação específica. Comumente os elevadores é priorizado a utilização de materiais e perfis padronizados, tais como tubos de aço baixa liga comerciais, ou materiais recomendados para cada componente.

Para que a seleção do material possa ser feita de maneira mais correta possível é necessário conhecimentos em relação as classificações e características de cada grupo de material. Segundo Callister (2002), os materiais podem ser classificados em cinco grupos principais: metais, cerâmicos, poliméricos, semicondutores e compostos. O comportamento de cada tipo de material depende de sua microestrutura e composição. O arranjo dos átomos em sua estrutura cristalina também tem influência sobre o comportamento de um determinado material.

Levando em consideração a área estudada e o projeto requerido, o metal e suas ligas são os materiais mais apropriados para a determinada aplicação. Segundo Callister (2002), as principais características mecânicas dos metais são a rigidez, resistência, dúcteis permitindo a sua deformação, além de serem resistentes a fraturas. Mas outros fatores devem ser levados em consideração além dessas características citadas acima. Fatores estes sendo os custos, disponibilidade no mercado, priorizados processos de fabricação relativamente baratos e fáceis de encontrar e realizar.

2.5 ANÁLISE DO MECANISMO

Segundo Beer (2015), os diagramas de corpo-livre são usados para determinar forças externas ou internas e são de extrema importância para uma análise analítica inicialmente com o intuito de observar grosseiramente quais são os pontos onde é necessária maior atenção no sistema específico.

Já para uma determinação das tensões e forças de uma maneira mais específica utiliza-se os softwares de análise numérica, que permite criar protótipos virtuais tridimensionais, ferramentas profissionais para projetos mecânicos permitindo que o comportamento mecânico seja observado, como por exemplos os esforços no elevador automotivo, documentação e simulação de produtos. Os

modelos 3D gerados, podem ser incorporados na realidade, pois ele se aproxima ao máximo do real.

2.5.1 Elementos Finitos

O desenvolvimento do Método dos Elementos Finitos (MEF) teve suas origens no final do século XVIII quando Gauss propôs a utilização de funções de aproximação para a solução de problemas matemáticos (LOTTI *et al.*, 2006).

O desenvolvimento prático desta análise se deu somente muito mais tarde em consequência dos avanços tecnológicos, em 1950, com a chegada da computação (LOTTI *et al.*, 2006).

Segundo Zienkiewicz & Taylor (2002), o MEF é definido como um método matemático em que um meio contínuo é subdividido em elementos que mantêm as propriedades de quem os originou. As equações obtidas são do tipo diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados esperados. Os nós, ou pontos nodais, conectam os elementos finitos utilizados na subdivisão do domínio do problema. O conjunto de elementos finitos e pontos nodais recebe o nome de malha de elementos finitos (MOTA, 2013).

Para Mota (2003), a precisão do método depende de alguns fatores, sendo estes: o refinamento da malha; o tipo de elemento; e as funções de interpolação. E sua precisão se dá pela determinação do número de elementos da malha, quanto menor for o tamanho e maior for o número de elementos em uma determinada malha, mais precisos serão os resultados da análise e com isso haverá uma variação no tempo de processamento.

2.6 DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)

De acordo com Akao (1995) a “Casa da qualidade é o resultado da união em forma de matriz, da tabela de Desdobramento da Qualidade Exigida (Requisitos dos Clientes) com a Tabela de Desdobramento das Características da Qualidade (Requisitos de Projeto)”.

Essa técnica permite quantificar os requisitos presentes nas necessidades do consumidor reduzindo os custos e o tempo gasto para o projeto. Ela está diretamente ligada ao cliente, onde irá facilitar a resolução de problemas que poderão surgir ao decorrer da produção.

É necessário ser cauteloso ao identificar os desejos dos clientes, pois o sucesso do produto dependerá da importância dada a esses desejos. O não atendimento pode acarretar a insatisfação do cliente fazendo com que o projeto perca sua finalidade. Mas os mesmos deverão ser identificados e analisados criteriosamente para podermos perceber a demanda do mercado.

3 METODOLOGIA

O projeto foi definido a partir dos tipos de veículos que esse elevador automotivo irá atender e a definição dos usuários.

O critério inicial utilizado para capacidade de carga do elevador levou em conta a classificação do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), juntamente com o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) os quais são os responsáveis pela elaboração do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), e a partir deste, consideramos a categoria de habilitação “B”, a qual contempla veículos de até 3.500 kg de peso bruto máximo, ou 7 passageiros, atribuindo esse peso como sendo a carga que o parafuso de potência irá suportar.

Como o elevador utilizará de 4 pontos de apoio, e estes são indicados pelo fabricante de cada veículo, a única preocupação é centralizar o máximo possível o veículo com o elevador, e posicionar os suportes nos pontos de apoio indicados no veículo.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O elevador foi concebido a partir de uma estrutura que será a base do mesmo, na qual será acoplado um par de estruturas tipo tesoura, com uma extremidade fixa em um dos lados da base e o outro acoplado ao parafuso através de uma porca, que a partir da rotação do parafuso “abrirá e fechará” a tesoura, realizando o movimento de subida e descida da base superior, onde as outras extremidades das tesouras estarão fixadas, e os braços, que podem ser alongados para alcançar os pontos de apoio específicos em cada veículo, com um apoio ajustável em altura em cada extremidade.

O movimento que fará o parafuso girar será um motor elétrico, acionado pela tomada 12V do próprio automóvel, com uma botoeira para subir e descer o elevador.

O parafuso estará apoiado em ambas extremidades com rolamentos para melhorar distribuição de carga, bem como evitar atrito e desgaste prematuro de todo sistema e redução de ruídos provenientes do funcionamento.

Como o projeto requer um elevador que possa ser transportado, o mesmo não possui nenhum sistema/meio de fixação ao solo.

4.1 ANÁLISE DA MATRIZ QFD

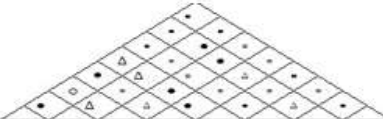
Foi utilizado uma análise de qualidade para dar início ao projeto, em que se buscou saber os interesses dos clientes em relação ao projeto, assim foi obtido como resultado características que para os clientes, o projeto deveria ter:

- Seguro;
- Rápido;
- Barato e;
- Portátil.

Após essa pesquisa, foi pautado, quais características esse projeto deveria priorizar, sendo elas:

- Preço;
- Qualidade;
- Portabilidade;
- Segurança;
- Peso;
- Fabricação;
- Facilidade de Venda;
- Concorrência.

Figura 7: Matriz QFD

Quês	Importância									1 = mínimo 5 = máximo A- Concorrente A B- Concorrente B ● - Nós				
		Preço	Qualidade	Portabilidade	Segurança	Peso	Fabricação	facilidade de Venda	Concorrência	1	2	3	4	5
Seguro	1	●			●		○			●	A	B		
Rápido	2	●		●	●	●	○				B	A		●
Barato	3		●		●		○	●	●	A	B			●
Portátil	4	●	○	●		●	●	○						●
Importância Absoluta		63	39	54	9	54	66	45	27					
Importância Relativa		2	6	3	8	3	1	5	7					
Dificuldade Técnica		3	5	5	1	2	4	3	3	1 = fácil 5 = Difícil				

Comos vesus Comos

- Fortemente positivo ●
- Positivo ○
- Negativo *
- Fortemente negativo ◇

Quês vesus Comos

- Relações fortes ● - 9
- Relações médias ○ - 3
- Relações fracas △ - 1

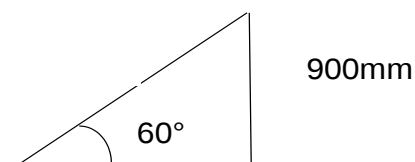
A casa da qualidade possui a finalidade de auxiliar no projeto da qualidade, sistematizando as qualidades verdadeiramente exigidas pelos clientes, por meio de expressões linguísticas, mostrando a correlação entre essas expressões e as características da qualidade, e convertendo as qualidades exigidas pelos clientes em características subjetivas.

4.2 CONFIGURAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Sabendo que uma parte estará apoiada no solo, e a outra deverá se deslocar promovendo o movimento ascendente ou descendente do veículo, e ainda que a plataforma ficará abaixo do veículo, a mesma deve ter uma altura mínima (altura do solo até sua parte mais alta) que seja a menor possível, para que veículos que não possuem um vão livre em relação ao solo muito alto possam utilizar esse elevador, e essa altura do mesmo totalmente recolhido em relação ao solo é de 140mm.

Sabendo que quando o elevador está na altura máxima, de 900mm, e seu ângulo será de 60° , pode se assim calcular o comprimento da haste pela Equação 4 e observado na Figura 6.

Figura 8: Comprimento da haste



Fonte: Autoria Própria (2018)

$$900 = X \cdot \text{Sen } 60^\circ \rightarrow X = 1039,23 \text{ mm} \quad (4)$$

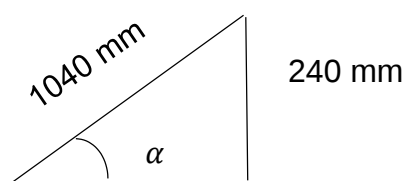
Como a hipotenusa é 1040mm, calcula-se o ângulo que é formado quando o elevador está em sua altura mínima de 140 mm, temos que:

$$\text{Sen } \theta = \frac{140 \text{ mm}}{1040 \text{ mm}} \rightarrow \theta = 7,74^\circ \quad (5)$$

As hastes suportam um máximo esforço quando o elevador está aguentando a carga em sua, teoricamente, altura mínima e, deste modo, o menor

ângulo de inclinação da haste, seria $7,74^\circ$, mas como pode ser observado no gráfico abaixo isso não procede devido a variação da força devido a suspensão do carro. Logo foi escolhida uma altura de 240 mm, o que representa a altura onde o carro está 100% erguido. É possível compreender de acordo com o gráfico e pela equação que o maior esforço ocorre quando o ângulo é igual a $13,35^\circ$, visto que o esforço na haste será máximo e de valor 37175,35 N, mostrado no Gráfico 1. O diagrama para o cálculo é ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Força máxima

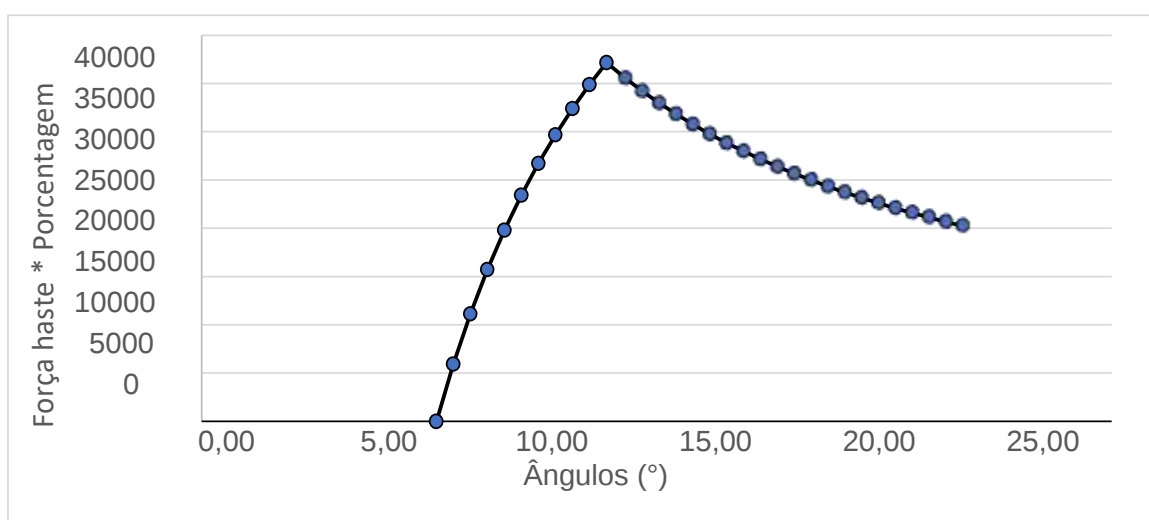


Fonte: Autoria Própria (2018)

Calculando o ângulo:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{240\text{mm}}{1040\text{ mm}} \rightarrow \alpha = 13,35^\circ \quad (6)$$

Gráfico 1: Esforço na haste



Fonte: Autoria Própria (2018)

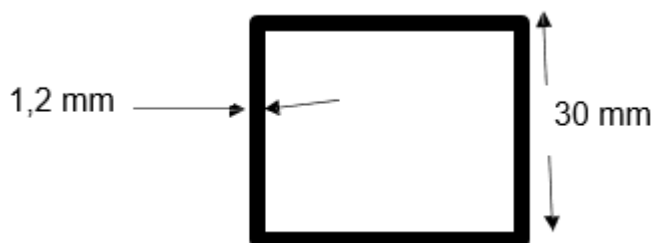
O perfil selecionado para as hastes é do tipo quadrado tubular, confeccionado em Aço 1020 Trefilado (Classe I), com 30,00 mm de lado e

espessura de parede de 1,20 mm, que atende as necessidades resiste aos esforços de compressão, flambagem e torção, conforme a Equação 9:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \rightarrow I = \frac{P_{cr} (KL)^2}{E\pi^2} \quad (7)$$

Logo, $I = 1,77 \text{ cm}^4$. Onde P_{cr} é a carga suportada quando o elevador na sua maior carga, K é o fator de comprimento efetivo igual a 0,5 para extremidades engastadas, L o comprimento da haste e E o módulo de elasticidade do Aço 1020. O perfil é representado pela Figura 10.

Figura 10: Perfil da haste



Fonte: Autoria Própria (2018)

4.3 PROJETO DO PARAFUSO DE POTÊNCIA

Nesse projeto será utilizada um parafuso de potência, pois garante vantagens mecânicas, com a capacidade de mover cargas elevadas.

Foi calculado que o maior esforço ocorre quando a angulação é de $13,35^\circ$, através das seguintes equações e do seguinte gráfico, onde a maior força será aplicada na altura de:

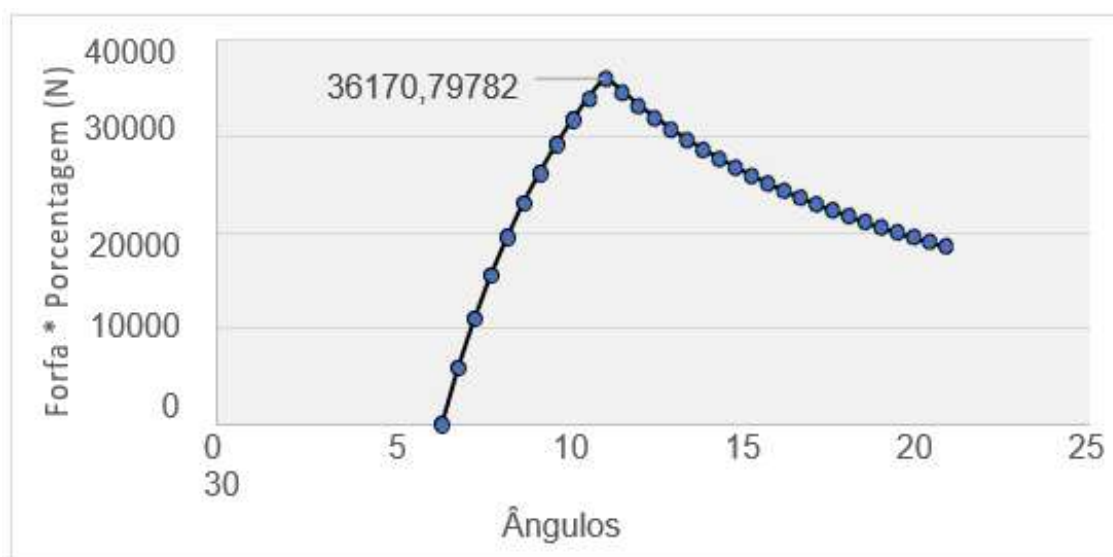
$$140 \text{ mm} + 100 \text{ mm} = 240 \text{ mm (altura máxima).}$$

Foi escolhida essa altura, pois para o carro estará totalmente erguido pelo elevador tem que levar em consideração a variação da força devido a suspensão do carro e na altura de 240 mm isso acontecerá. A partir dessa altura foi calculado ângulo de maior esforço feito pelo parafuso, como visto anteriormente.

O cálculo da força máxima do parafuso se deu a partir dessa equação, onde tem se força aplicado no eixo x (força no parafuso) e o ângulo de força atuante no eixo y. Utilizando a trigonometria, tem se:

$$\tan 13,35^\circ = \frac{3500 \text{ kg} * 9,81 * \frac{1}{4}}{F_p} \rightarrow F_p = 36170,79 \text{ N} \quad (8)$$

Gráfico 2: Esforço no parafuso



Fonte: Autoria Própria (2018)

Logo a força máxima 36170,79 N para o parafuso ocorrerá com o ângulo de 13,35°.

A partir da força máxima foi possível a seleção do diâmetro máximo levando em consideração as tensões de cisalhamento, flambagem e compressão.

4.4 ANÁLISE PARA SUPORTAR A COMPRESSÃO

Para encontrar o diâmetro de raiz necessário para suportar o esforço de compressão utilizamos a seguinte relação:

$$\sigma = \frac{F_p}{A} \quad (9)$$

- σ = Limite de escoamento;
- F_p = Força máxima do parafuso;
- A = Área do parafuso.

Assim, este valor do diâmetro de compressão (D_c) encontrado representa o de diâmetro de raiz necessário para suportar o esforço de compressão.

4.5 ANÁLISE PARA SUPORTAR O CISALHAMENTO

Para encontrar o diâmetro de raiz necessário para suportar o cisalhamento, utilizaremos a seguinte relação:

$$\tau = \frac{T \times r}{J_o} \quad (10)$$

- τ = Limite de resistência de cisalhamento;
- T = Momento de torção
- $J_o = \frac{\pi \times r^4}{2}$

Assim, este valor do diâmetro de cisalhamento (D_t) representa o de diâmetro de raiz necessário para suportar o esforço de cisalhamento.

4.6 ANÁLISE PARA SUPORTAR A FLAMBAGEM

Para a análise para suportar a flambagem, utiliza-se a seguinte equação:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2} \quad (11)$$

- P_{cr} = Carga crítica;
- E = Modulo de elasticidade;
- I = Menor momento de inercia para área de seção transversal.

Assim, este valor do diâmetro de flambagem (D_v) representa o de diâmetro de raiz necessário para suportar o esforço de flambagem.

Logo, o valor escolhido será o maior diâmetro calculado, como visto na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Diâmetros calculados

Diâmetros	
$D_r(\text{mm})$	28,3 mm

$D_v(\text{mm})$	25,95 mm
$D_t(\text{mm})$	17,22 mm

Fonte: Autoria Própria (2018)

4.7 COEFICIENTE DE ATRITO

Nessa aplicação o atrito considerado é do tipo metal-metal com lubrificação, e dessa forma seu valor é de 0,15. (NORTON, 2004)

4.8 CÁLCULOS DO L E P

Primeiramente deve se ver a condição autotravante na qual um parafuso não gira apenas com a aplicação de uma força axial, seja qual for sua magnitude.

Em outras palavras, o parafuso suportará a carga e não necessitará de um freio para manter essa carga no local. A aplicação mais cotidiana dessa situação é no macaco automotivo, o qual não permite que o carro desça seja qual for a posição que o usuário pare o processo de erguer o veículo.

A condição de autotravamento é encontrada através da seguinte expressão:

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \times \cos \alpha \text{ ou } \mu \geq \tan \lambda \times \cos \alpha \quad (12)$$

Se a rosca for quadrada, $\cos \alpha = 1$, assim:

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \text{ ou } \mu \geq \tan \lambda \quad (13)$$

Deixo aqui observado, que essa condição prevê condição estática do sistema, e alguma vibração externa pode vir a causar o deslocamento do parafuso autotravante.

Depois é calculado o D_m , usando a seguinte equação:

$$D_m = D_r + \frac{P}{2} \quad (14)$$

Como nesse caso será utilizado a rosca quadrada pode se utilizar a seguinte relação:

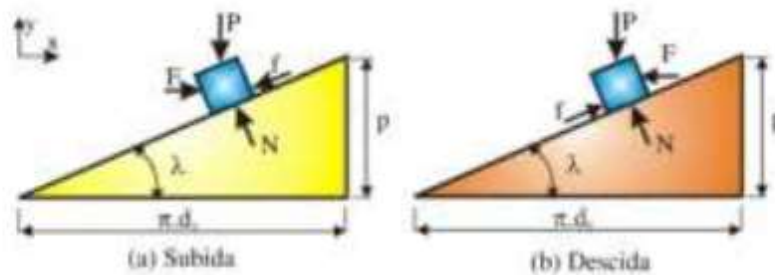
$$L = p$$

- L = Avanço
- P = Passe da rosca

4.9 CÁLCULOS DAS FORÇAS E TORQUES

Agora foi feita a análise das forças e torques aplicáveis em roscas quadradas, a rosca do parafuso é essencialmente um plano inclinado enrolado ao redor de um cilindro de forma a criar uma hélice. Se o desenrolássemos uma volta da hélice, esta pareceria como se vê na Figura 11, que mostra um bloco representando a porca enquanto escorrega plano inclinado acima, no caso de uma rosca quadrada.

Figura 11: Análise de forças e torque



Fonte: Norton (2004)

A inclinação do plano é chamada de ângulo de avanço λ . Assim:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{L}{\pi \times D p} \quad (15)$$

Para o elevador do trabalho, o levantamento do veículo se dará pelas somas das forças nas direções x e y:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F - f \cos \lambda - N \sin \lambda = F - \mu N \cos \lambda - N \sin \lambda$$

$$F = N(\mu \cos \lambda + \sin \lambda)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N \cos \lambda - f \sin \lambda - P = N \cos \lambda - \mu N \sin \lambda - P$$

$$N = \frac{P}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)}$$

(16)

Sendo μ o coeficiente de atrito e dessa forma a combinação dessas equações produz a seguinte expressão para a força F :

$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \sin \lambda)}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \quad (17)$$

O torque para levantar o veículo é dado por:

$$T = F \frac{dp}{2} = \frac{pdp}{2} \frac{(\mu \cos \lambda + \sin \lambda)}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \quad (18)$$

Algumas vezes se torna mais conveniente expressar esse torque como função do avanço L em vez do ângulo de avanço λ . Logo, tem se:

$$T = \frac{pdp}{2} \frac{(\mu \pi dp + L)}{(\mu dp - L)} \quad (19)$$

4.10 EFICIÊNCIA

Já com o torque necessário para elevar a carga calculado, pode se obter a eficiência do parafuso de potência através da seguinte relação:

$$e = \frac{T_o}{T_r} \quad (20)$$

4.11 SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS

Nesse projeto foi escolhido rolamentos rígidos de esferas e rolamentos de rolos cilíndricos. Os rolamentos rígidos de esferas são particularmente versáteis. Eles são adequados para altas e muito altas velocidades, acomodam cargas radiais e axiais em ambos os sentidos e requerem pouca manutenção.

Rolamentos de rolos cilíndricos possuem uma grande capacidade de carga, principalmente, carga radial. Como o atrito entre os corpos rolantes e o rebordo do anel é reduzido, os rolamentos de rolos cilíndricos são adequados para altas rotações.

Foram utilizados 12 rolamentos de esferas:

- 4 - Rolamentos rígidos de esferas do tipo 6205 SKF
- 2 - Rolamentos rígidos de esferas do tipo SKF WBB1- 8713
- 6 - Rolamento rígido de Esferas - SKF - 6004-Z.

4.12 DIMENSIONAMENTO DOS PINOS

Para que haja a junção das hastes que formam o formato de tesoura característico do elevador, foi de extrema necessidade calcular os diâmetros desses pinos através da seguinte equação:

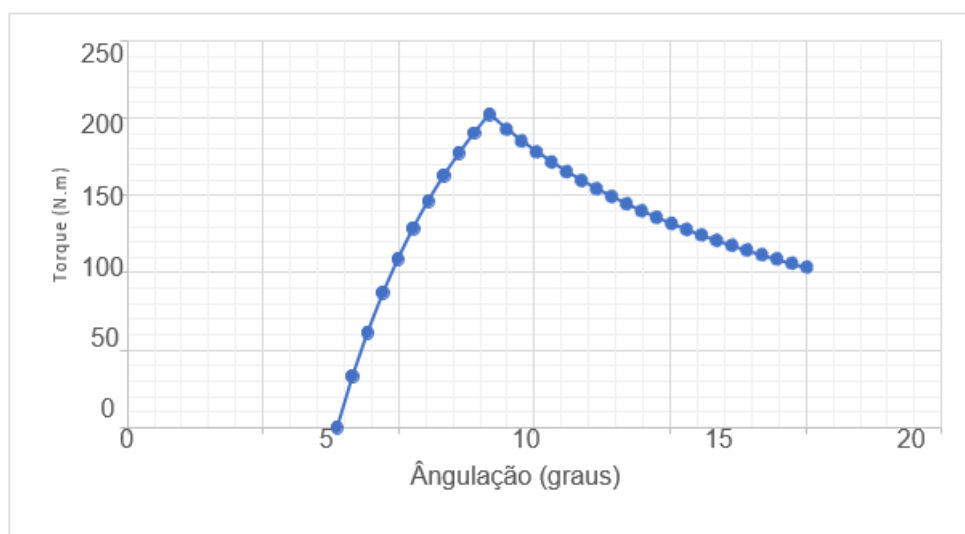
$$D = \sqrt{\frac{Pcr \times 4}{\pi \times \tau}} \quad (21)$$

- D= Diâmetro do pino
- τ = Tensão de cisalhamento

4.13 SELEÇÃO DO MOTOR E INVERSOR

Para o cálculo do motor foi considerado o torque máximo que a força peso provoca no parafuso de potência, tendo essa informação será possível encontrar um motor existente no mercado para vencer esse torque e fazer com que o mecanismo execute sua função de erguer o carro. E de acordo com os cálculos, o torque máximo será durante a subida, isto é, o torque para superar o atrito e elevar a carga. Para isso foi usado a equação para o torque na subida, mostrado anteriormente, para cada ângulo no processo. Se tem, portanto, a seguinte relação que é mostrada no Gráfico 3:

Gráfico 3: Torque x Angulação



Fonte: Autoria própria (2018)

Com a identificação do maior torque, pode se então selecionar um motor no mercado que seja suficiente para erguer o veículo.

Com a identificação do maior torque, pode se então selecionar um motor no mercado que seja suficiente para erguer o veículo. Existem diversos modelos com potências e torques diferentes, e como nosso objetivo inicial era usar a bateria do próprio veículo, que tem uma voltagem de 12 volts, houve uma dificuldade em encontrar uma solução para a escolha do motor ideal. Inicialmente foi pensado uma caixa de redução para que diminuindo a velocidade do motor com alta rotação desse uma saída com maior torque, mas demandaria mais mão-de-obra e material para elaborar e executar esse projeto secundário. Então foi proposta uma solução simples, de usar um inversor de potência, visto na Figura 12, para retornar uma potência maior que os 12 volts fornecidos pela bateria do carro, mas mesmo com essa mudança na potência, ainda temos motores limitados no mercado, por isso vamos utilizar uma caixa de redução de 1:10.

Para o inversor, escolheu-se o seguinte modelo:

Figura 12: Inversor



Fonte: www.mercadolivre.com.br

Especificações:

- Modelo: 2000W
- Marca: Lucky Amazonia
- Tipo: Inversor de voltagem
- Consumo de Energia: 0,4A
- Capacidade até 900 Amperes
- Eficiência: 80%
- Frequência: 50Hz
- Proteções: Proteção com desligamento automático
- Tensão entrada: 11/15 V
- Tensão saída: 220V +/- 10% RMS

Esse inversor é feito exclusivamente para uso automotivo, e isso foi um dos fatores que nos incentivou a escolhê-lo. Além de vir com os cabos necessários para usar tanto na bateria diretamente como na tomada de 12 volts que existe dentro dos automóveis.

Com esse inversor as possibilidades para motor são expandidas, e foi encontrado um motor apropriado Figura 13:

Figura 13: Motor de passo NEMA 42



Fonte: www.lojapolicompcomponentes.com.br.

4.14 CÁLCULO DO TEMPO DE SUBIDA

Depois de selecionado o motor foi feito o cálculo para descobrir o tempo de subida do elevador. Sabendo que a potência desse motor é igual a 1800W e a média do torque de subida, foi possível encontrar a velocidade angular a partir da equação:

$$W = \frac{\text{Potência}}{\text{Torque médio}} \quad (22)$$

Após o cálculo, a velocidade angular encontrada é igual 13,30 rpm. Sabendo o passo do parafuso de potência e a velocidade calculada anteriormente foi possível encontrar o tempo de subida para esse elevador, no qual foi igual a 1,8 min o que caracteriza um elevador de rápido para a sua operação.

4.15 CAIXA DE REDUÇÃO

A caixa de redução foi selecionada no mercado de acordo com a necessidade de 1:10. Escolheu-se então a seguinte caixa, que tem fuso interno de 25 mm e peso de 6,5 Kg.

4.16 LUBRIFICAÇÃO

Processo ou técnica de aplicação de camada lubrificante com objetivo de reduzir o atrito entre duas superfícies, geralmente metálicas, separando as mesmas. Para esse tipo de projeto foi escolhido a graxa como material lubrificante, pois é barato e fácil de encontrar no mercado.

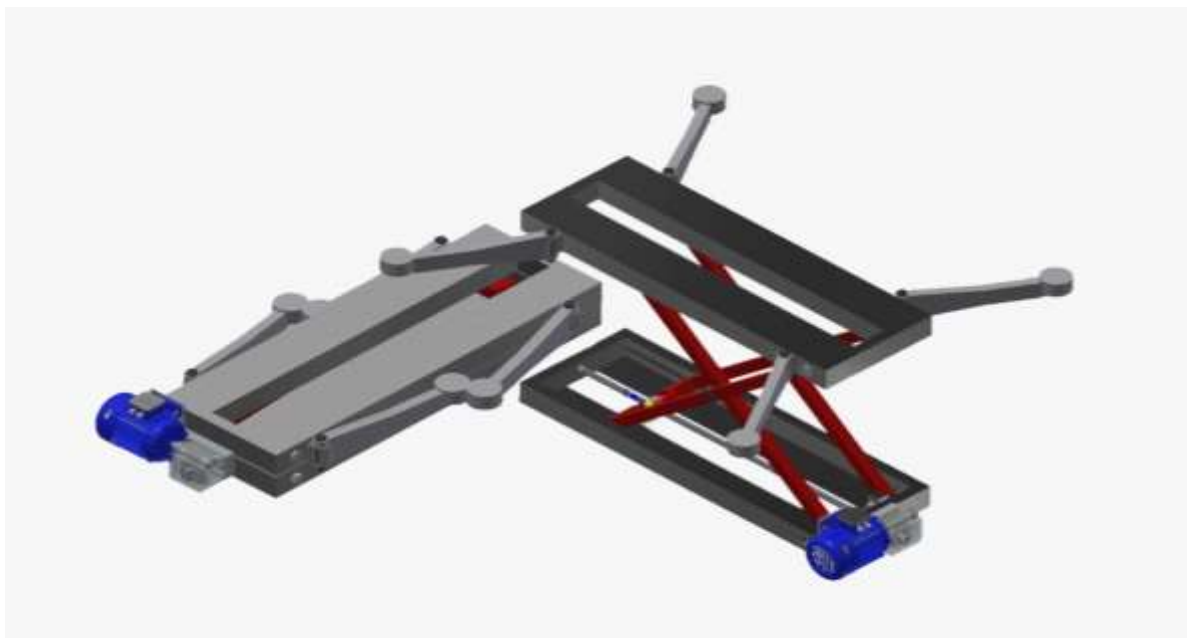
4.17 ANÁLISE NUMÉRICA

4.17.1 Construção do Modelo

Um modelo numérico foi construído em CAD/CAM otimizado para análise numérica, eliminando peças que não faziam parte da análise em si. Esse modelo serviu como base para a criação da malha numérica e das definições referentes

as condições de contorno da simulação. O modelo foi obtido com auxílio de ferramentas como inventor, como pode ser visto na figura 14 abaixo:

Figura 14: Elevador automotivo

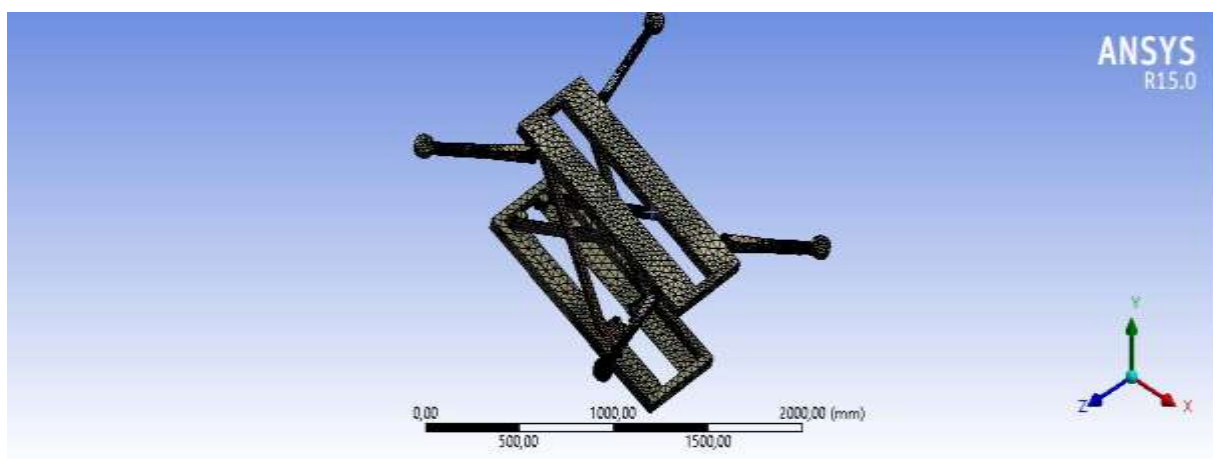


Fontes 1: Autoria Própria (2018)

4.17.2 Malha

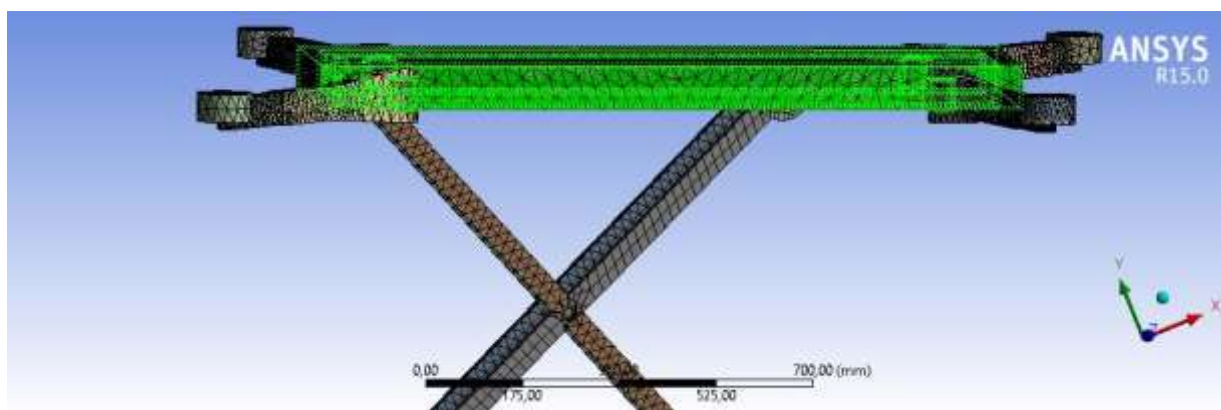
Para a malha do modelo, utilizou-se de elementos estruturados e não estruturados com refinamento nas regiões mais críticas da simulação, como por exemplo as faces em contato com a força distribuída como nas figuras 15 e 16 a seguir:

Figura 15: Malha do elevador



Fonte: Autoria Própria (2018)

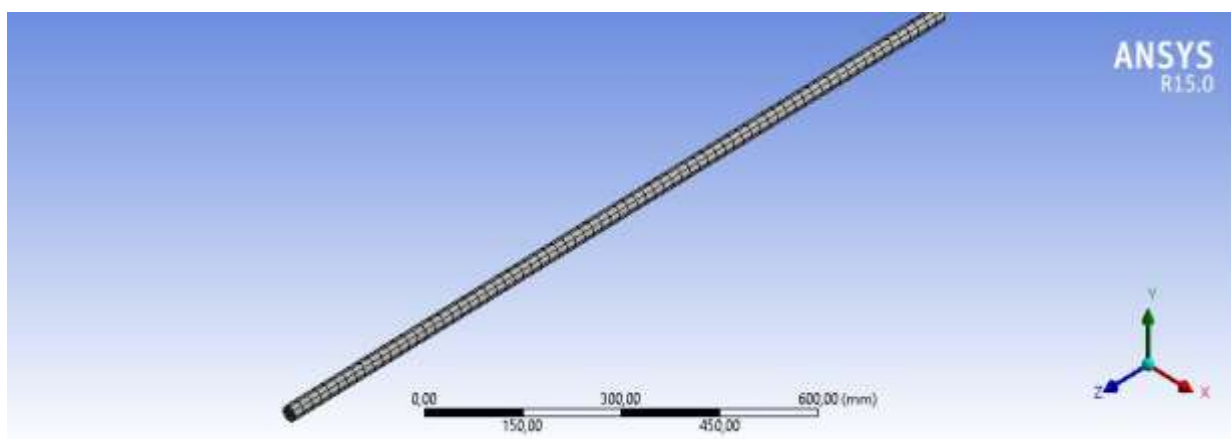
Figura 16: Malha do elevador aproximada



Fonte: Autoria Própria (2018)

Além disso, utilizou se do mesmo procedimento de desenvolvimento da malha para regiões do parafuso de potência, onde a força analisada foi o torque, visto na figura 17:

Figura 17: Malha parafuso de potência



Fonte: Autoria própria (2018)

Escolheu-se refinar apenas algumas regiões para otimização do tempo de simulação computacional, já que, temos resultados precisos da mesma maneira.

4.17.3 Setup

Para o setup foram colocadas condições de contorno referentes a engastes, forças e torques ao qual as estruturas do modelo numérico seriam submetidas utilizando um erro residual de 0,00001 para os resultados calculados.

4.18 COMPARAÇÃO COM O MERCADO

Foram feitas comparações com produtos similares disponíveis no mercado que possuem o mesmo propósito que o equipamento. Podendo analisar as características principais, tanto pontos positivos como negativos, e assim identificar pontos falhos os quais possam ser melhorados, auxiliando também na definição de alguns parâmetros iniciais.

Um dos produtos escolhidos é o elevador automotivo MD-6XP, mostrado na Figura 18 e suas especificações na Tabela 2.

- MD-6XP

Tabela 2: Especificações MD-6XP

Capacidade de levantamento	6.000 libras. (2,724 kg)
Altura de elevação sem adaptadores	48 "(1.219 mm)

Altura abaixada	4.75 "(121 mm)
Tempo de Levantamento	45 seg
Motor	115 / 208-230 VAC / 50-60 Hz / 1 Ph
Peso	852 lbs. (387 kg)
Dimensões de remessa	84 "x 41" x 27 " (2,134 mm x 1,041 mm x 686 mm)
Preço (*) (**)	\$2.275/ R\$ 9464,00

Fonte: www.bendpak.com.

Figura 18: Elevador pantográfico MD- 6XP



Fonte: www.bendpak.com.

Notas:

(*) Cotação do dia 25 de agosto de 2018 (1\$ = R\$ 4,16)

(**) Valores de impostos de importação não inclusos

O ERH3500TSA possui muitas similaridades com o projeto e suas especificações estão na Tabela 3 e Figura 19.

- ERH3500TSA

Tabela 3: Especificações ERH3500TSA

Capacidade de levantamento	3500 kg
Altura de elevação sem adaptadores	1880 mm
Tempo de Levantamento	55 seg

Peso	940Kg
Preço	R\$14.899,99

Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>

Figura 19: Elevador pantográfico ERH3500TSA



Fonte: www.lojadomecanico.com.br

Da mesma forma, o elevador automotivo MR 2700 possui similaridades com o trabalho em questão e suas especificações estão descritas na Tabela 4 e Figura 20.

- MR 2700

Tabela 4: Especificações MR 2700

Capacidade de levantamento	2,5 a 3 toneladas
Altura de elevação sem adaptadores	120 cm
Tempo de Levantamento	45 seg
Peso	852 lbs. (387 kg)
Preço (*) (**)	\$2.275/ R\$ 9464,00

Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>

Figura 20: Elevador pantográfico MR 2700

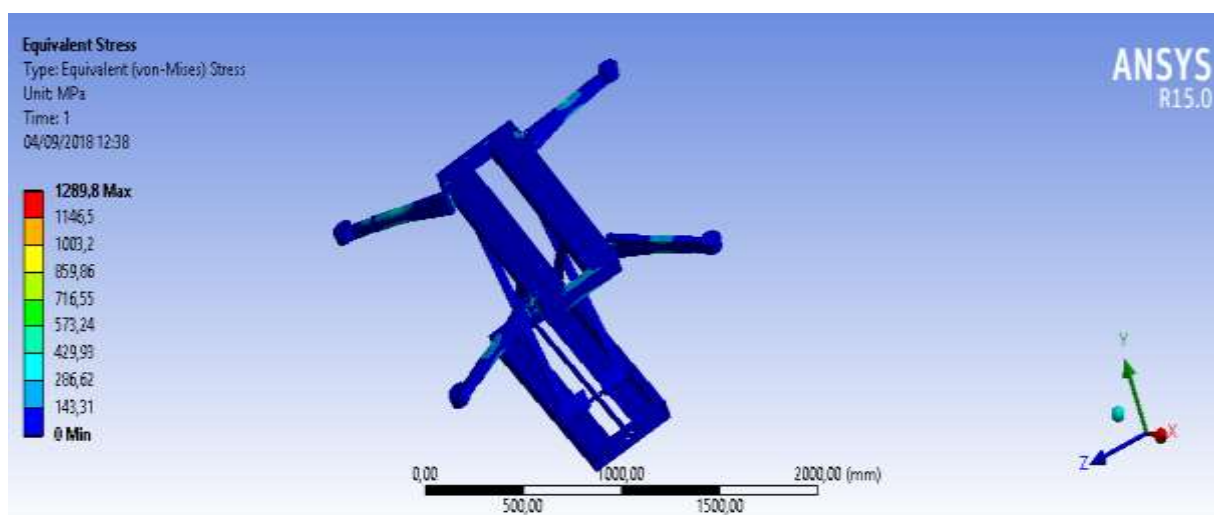


Fonte: <http://www.emasterelevadores.com.br>

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

O primeiro resultado obtido, pelo software de simulação ANSYS *Workbench*.[®], é baseado nas simulações numéricas feitas nos braços levando em consideração que o automóvel estará totalmente erguido, analisando assim a tensão de escoamento do projeto. Esses valores foram comparados com a tensão de escoamento que o aço em questão e se cada braço iria suportar a carga do projeto. Fica nítido através da Figura 20 que o projeto conseguira sustentar o automóvel totalmente erguido.

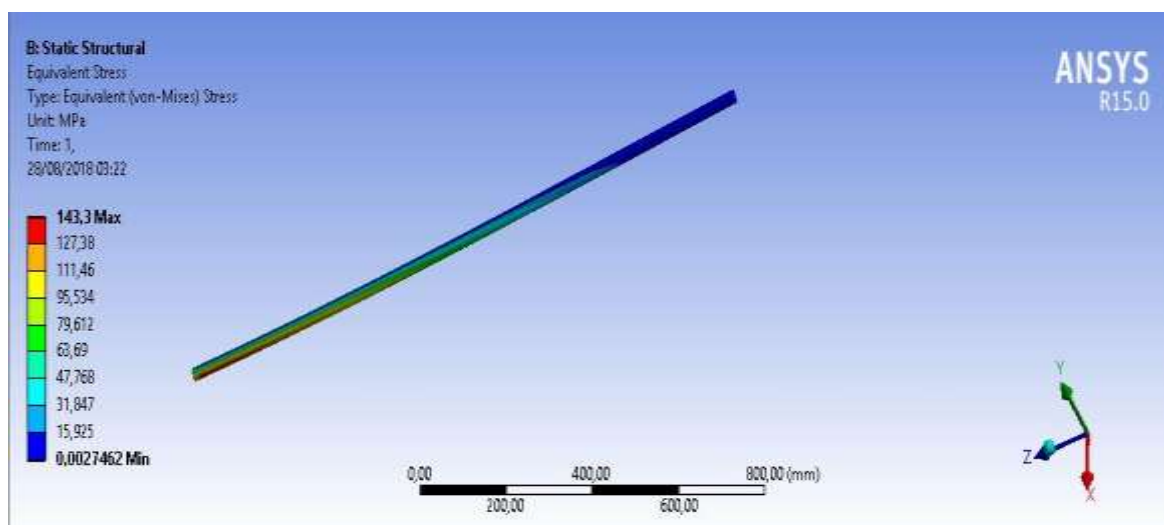
Figura 21: Tensão de escoamento nos braços



Fonte: Autoria Própria (2018)

O outro resultado obtido, pelo software de simulação ANSYS *Workbench*.[®], também foi baseado nas simulações numéricas, mas foi feito no parafuso de potência analisando a tensão em relação ao torque. O valor obtido foi comparado com o do material escolhido, mostrando que o parafuso de potência suportará o torque do elevador.

Figura 22: Tensão de escoamento no parafuso



Fonte: Autoria Própria (2018)

Foi elaborado um quadro comparativo entre as especificações do material com os obtidos por meio de análise com elementos finitos. Os resultados estão expostos abaixo.

Tabela 5: Comparativo de tensões

Componente	Limite de Escoamento	Limite de Escoamento
Parafuso (Aço SAE 1020)	350 MPa	143,3 MPa
Braços (Aço SAE 1060 laminado)	585 MPa	429 MPa

Fonte: Autoria Própria (2018)

Pode-se concluir que o resultado obtido por meio de software mostra que o elevador é capaz de suportar as tensões presentes no projeto, sendo esses resultados muito precisos visto que o ANSYS *Workbench*.[®] considerada concentrações de tensões e variações nas dimensões da secção.

O custo foi uma das propostas incluídas nesse projeto, pois o elevador deveria ser de baixo custo, porém não se conseguiu atingir este objetivo, pois os custo do motor, da caixa de redução e do inversor foram muito elevados,

mas ainda assim quando comparado aos outros elevadores de mesmo tipo, tem se um elevador com um custo não tão elevado.

Os custos estão apresentados na Quadro 1. Esses valores poderão ser mudados, pois se trata de um projetor preliminar e correções ainda serão feitas.

Quadro 1: Orçamento

Orçamento			
Item	Quant.	Valor Unitário	Valor total
Tarugo de Aço SAE 1020 2"x280mm	1	R\$14,36	R\$14,36
Chapas da base	2	R\$62,00	R\$124,00
Braço Telescópico	4	R\$88,20	R\$352,80
Porcas (M14)	4	R\$0,47	R\$1,88
Porcas (M30)	4	R\$6,60	R\$26,40
Rolamento Rígido de Esferas - SKF - 6205-2RSH	4	R\$20,70	R\$82,80
Rolamento Rígido de Esferas - SKF WBB1- 8713	2	R\$27,86	R\$55,72
Rolamento Rígido de Esferas - SKF - 6004-Z	6	R\$11,00	R\$66,00
Inversor de Voltagem	1	R\$698,90	R\$698,90
Motor de passo Nema 42	1	R\$1.207,00	R\$1.207,00
Parafusos M14	4	R\$1,44	R\$5,76
Parafusos M30	4	R\$2,50	R\$10,00
Base emborrachada	1	R\$21,49	R\$21,49
Caixa de redução	1	R\$1.710,00	R\$1.710,00
Graxa branca Hp 500g	1	R\$12,00	R\$12,00

Total			R\$4.389,11
-------	--	--	-------------

Fonte: Autoria Própria (2018)

A partir do memorial de cálculo e análises de elementos finitos, chegou se a seguintes especificações do projeto.

Quadro 2: Especificações do projeto

Especificações do projeto	
Capacidade	3500 Kg
Elevação máxima	900 mm
Peso	200 Kg
Tempo de elevação	108 segs.
Acionamento	Motor elétrico NEMA 42
Segurança	Sistema autotravante
Estrutura	Chapas de aço
	Aço tubular
Preço	R\$4.389,11

Fonte: Autoria Própria (2018)

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos garantem a eficiência do projeto, assim proporcionando um mecanismo seguro, atingindo os objetivos propostos sobre o desenvolvimento da matriz QFD, análises dos materiais, do memorial de cálculo, da matriz QFD e da análise envolvendo elementos finitos através dos softwares Autodesk Inventor e ANSYS *Workbench*.[®] .

Já em relação ao custo, pode-se afirmar que essa diretriz do projeto inicial não foi alcançada, pois o custo baixo que foi proposto não foi obtido, porém os outros itens de importantes ao projeto foram alcançados com ótimos resultados.

Assim para os objetivos não obtidos, sugere-se uma reavaliação a fim de melhorar o mesmo, pois se trata de um projeto preliminar e muitas mudanças ainda serão feitas

7 REFERÊNCIAS

SHIGLEY, J. E. Elementos de Máquinas, vol. 1, reimpressão, LTC: São Paulo, 1986;

LORDES, Francisco et. all. Noções Básicas de Elementos de Máquinas. Senai/CST: Vitória, 1996.

CALLISTER, William D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

NORTON, Robert L. **Projeto de Maquinas**. s.l.: Bookman, 2004.

HIBBELER, Russel C. **Mecânica para Engenharia - Estática**. São Paulo: Pearson, 2011.

ARTUZO, R.M. and Sganderla, R.H., 2014. Desenvolvimento de um elevador automotivo portátil para veículos de até 2000 kg (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

ELEVADORES, Emaster. **Elevador automotivo: modelos e as suas diferenças**. Disponível em: <<http://www.emasterelevadores.com.br/elevador-automotivo-modelo-e-suas-diferencas/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

Policomp - Componentes Industriais. Disponível em: <<http://www.emasterelevadores.com.br/elevador-automotivo-modelo-e-suas-diferencas/>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

LG STEEL. Disponível em: < <http://lgsteel.com.br/propriedades-mecanicas-do-carbono.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

Loja do Mecânico. Disponível em www.lojadomecanico.com.br/produto/96239/11/112/elevador-hidraulico-pantografico-azul-3500kg-maquinas-ribeiro-erh3500ts-a.>. Acesso em: 28 abr. 2018.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. McGraw Hill Brasil, 2004.

BEER, F.P., Johnston, E.R. and Mazurek, D.F., 2015. **Mecânica dos Materiais-7ª Edição**. AMGH editora.

ZIENKIEWICZ, O. C.; TAYLOR, R. L. **The Finite Element Method: The Basis**. 5 ed., v.1, Editora Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.

LOTTI, R. S.; MACHADA, A. W.; MAZZIEIRO, Ê. T.; JÚNIOR, J. L. **Aplicabilidade Científica do Método dos Elementos Finitos**, v. 11, n. 2, p. 35-43, 2006.

MOTA, N. A. **Avaliação do Comportamento Dinâmico de uma Laje de Grande Porte Através de Modelagem Computacional e Análise Experimental**. 2013. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (Brasília). **Código de Trânsito Brasileiro**. 2010. Disponível em: <<http://imperiodalei.com.br/legislacao/legisfederal/codigo-de-transito-brasileiro.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Bendpak - MD-6XP. *Catálogo Bendpak*. Disponível em <<http://www.bendpak.com/car-lifts/specialty-lifts/md-6xp.aspx>>. Acesso em 30 agosto. 2018.

SKF - Rolamentos. *Catálogo SKF Rolamentos*. Disponível em <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/index.html>>. Acesso em 12 agosto. 2018.

ANEXO A

PROPRIEDADES E COEFICIENTES

Figura 23: Coeficientes dos Materiais

Materiais	μ_c	μ_c
madeira/madeira	0,4	0,2
gelo/gelo	0,1	0,03
metal/metal (c/ lubrif.)	0,15	0,07
aço/aço (s/ lubrif.)	0,7	0,6
borracha/cimento seco	1,0	0,8
articulações nos membros humanos	0,01	0,01

Fonte: Norton (2004)

Figura 24: Propriedades Mecânicas

Propriedades mecânicas dos aços nas condições: laminados a quente: normalizado e recozido.									
Qualidade		Condições	Temperatura de austenitização (°C)	Resist. à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)	Impacto (J)
AFP	AISI (1)								
1015	1015	Laminado	-	420	315	39,0	61	126	111
		Normalizado	925	425	325	37,0	70	121	115
		Recozido	870	385	285	37,0	70	111	115
1020	1020	Laminado	-	450	330	36,0	59	143	87
		Normalizado	870	440	345	35,8	68	131	118
		Recozido	870	395	295	36,5	66	111	123
1030	1030	Laminado	-	550	345	32,0	57	179	75
		Normalizado	925	525	345	32,0	61	149	94
		Recozido	845	460	345	31,2	58	126	69
1040	1040	Laminado	-	620	415	25,0	50	201	49
		Normalizado	900	595	370	28,0	55	170	65
		Recozido	790	520	350	30,2	57	149	45
1050	1050	Laminado	-	525	415	20,0	40	229	31
		Normalizado	900	750	430	20,0	39	217	27
		Recozido	790	635	365	23,7	40	187	18
1060	1060	Laminado	-	815	485	17,0	34	241	18
		Normalizado	900	775	420	18,0	37	229	14
		Recozido	790	625	370	22,5	38	179	11
1084	1080 1084	Laminado	-	965	585	12,0	17	293	7
		Normalizado	900	1015	525	11,0	21	293	7
		Recozido	790	615	380	24,7	45	174	7

Fonte: LG STEEL

ANEXO B**FORÇAS NECESSÁRIA EM FUNÇÃO DA ALTURA E PORCENTAGEM**

Quadro 3: Força no parafuso

Ângulos (°)	Força parafuso (N)
7,74	63154,69273
10	48680,86532
13	37180,30604
16	29935,09373
18,63	25461,98774
21,408	21894,14935
24,186	19112,19856
26,964	16872,75781
29,742	15023,31628
32,52	13463,41535
35,298	12124,16223
38,076	10956,71098
40,854	9925,442785

Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 4: Especificações das forças

Ângulo (°)	Braço (Força)*porcentagem (N)	Ângulo (°)	Força parafuso * porcentagem (N)	Porcentagem
7,74	0	7,74	0	0
8,301	5945,517492	8,301	5883,227907	0,1
8,862	11143,73922	8,862	11010,70812	0,2
9,42	15728,64516	9,423	15516,41099	0,3
9,98	19804,10339	9,984	19504,19414	0,4
10,545	23451,88005	10,545	23055,81244	0,5
11,106	26737,22165	11,106	26236,50027	0,6
11,67	29712,82683	11,667	29098,94335	0,7
12,23	32421,72484	12,228	31686,15712	0,8
12,789	34899,3964	12,789	34033,60766	0,9
13,350	37175,35983	13,35	36170,79782	1
13,91	35703,9758	13,911	34656,79045	1
14,47	34347,79827	14,472	33257,93863	1
15,033	33093,9331	15,033	31961,34609	1

Fonte: Autoria própria (2018)

Quadro 5: Torque e velocidade

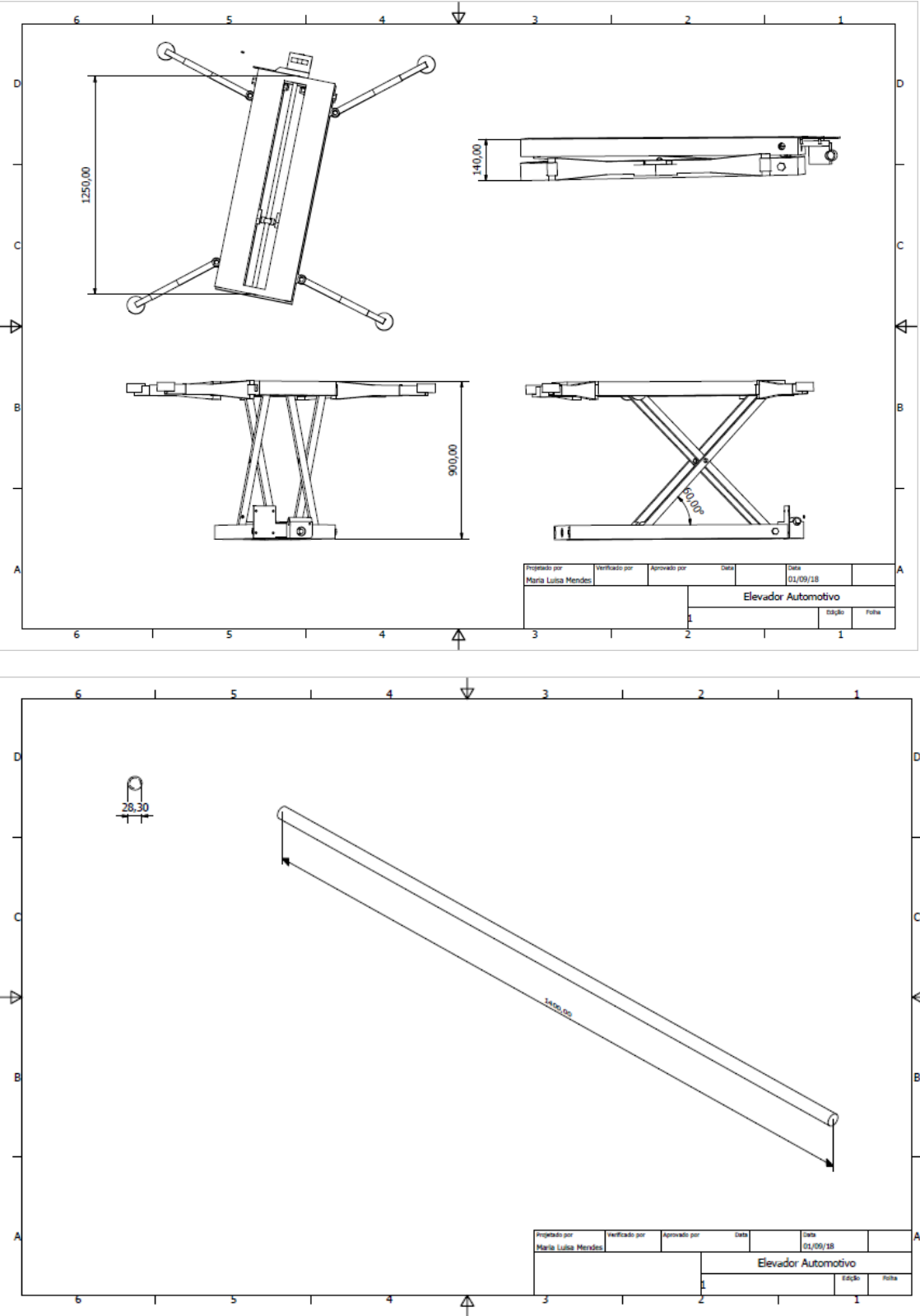
Ângulo (°)	TORQUE (N*m)	VELOCIDADE ANGULAR (RPM)
7,74	0	0
8,301	32,87356708	54,75523832
8,862	61,52416965	29,25679469
9,423	86,70053656	20,76111719
9,984	108,9829406	16,51634641
10,545	128,8282007	13,97209609
11,106	146,600825	12,27823923
11,667	162,5952035	11,07043727
12,228	177,0516923	10,16652243
12,789	190,1684641	9,465291781
13,35	202,1103708	8,906024924
13,911	193,6506019	9,295091171
14,472	185,8342838	9,686049112
15,033	178,5893566	10,0789881

Fonte: Autoria Própria (2018)

ANEXO C

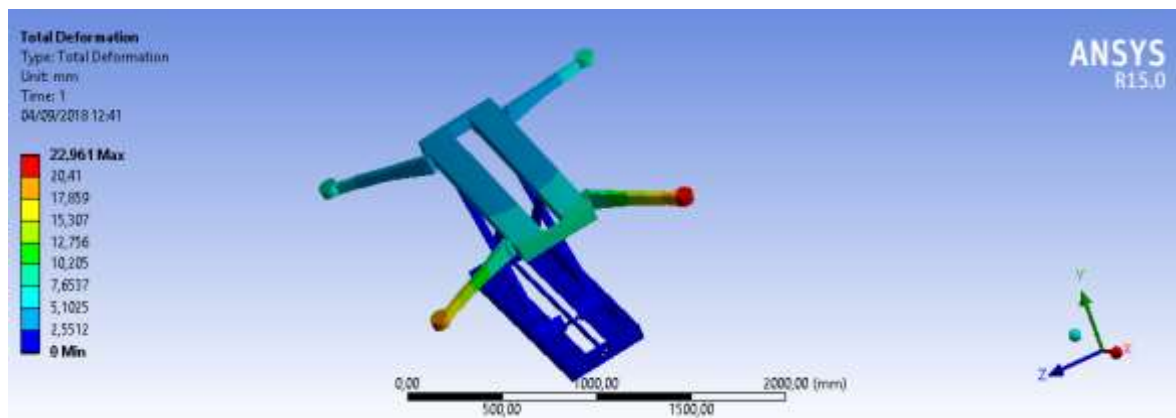
DIMENSÕES E SIMULAÇÃO DA DEFORMAÇÃO

Figura 25: Dimensões



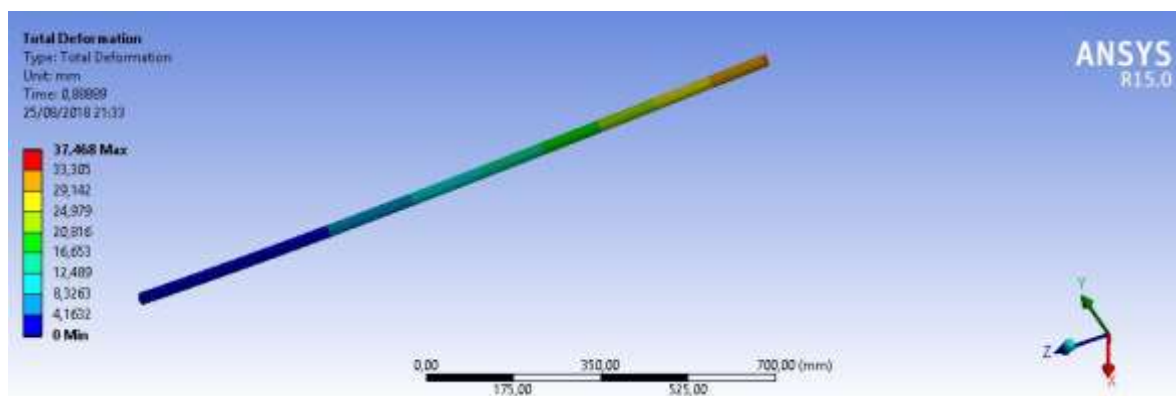
Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 26: Deformação total elevador



Fonte: Autoria Própria

Figura 27: Deformação total Parafuso de potência



Fonte: Autoria Própria

ANEXO D

CATÁLOGO DOS ROLAMENTOS

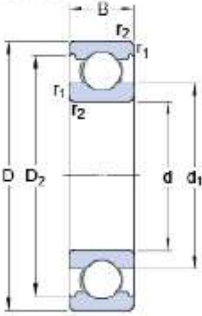
SKF

►

6205

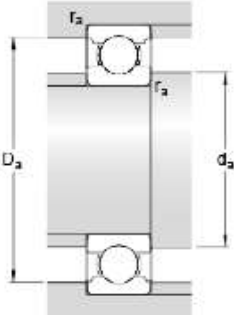
Popular item
SKF Explorer

Dimensões



d	25	mm
D	52	mm
B	15	mm
d ₁	≈ 34.35	mm
D ₂	≈ 46.21	mm

Dimensões do encosto



d _a	min.	30.6	mm
D _a	max.	46.4	mm
r _a	max.	1	mm

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	14.8	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	7.8	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.335	kN
Velocidade de referência		28000	r/min
Velocidade-limite		18000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.025	
Fator de cálculo	f ₀	14	

Massa

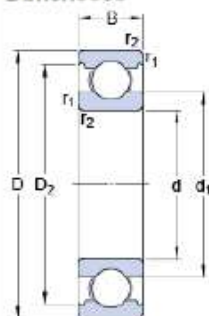
Massa do rolamento	0.13	kg
--------------------	------	----

SKF


6004

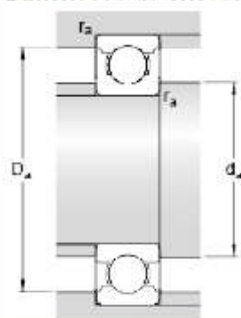
Popular item
SKF Explorer

Dimensões



d	20	mm
D	42	mm
B	12	mm
d ₁	≈ 27.2	mm
D ₂	≈ 37.19	mm
r _{1,2}	min. 0.6	mm

Dimensões do encosto



d _a	min. 23.2	mm
D _a	max. 38.8	mm
r _a	max. 0.6	mm

Dados de cálculo

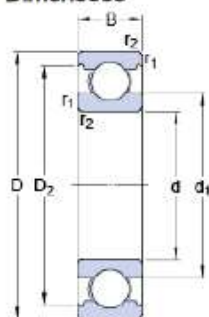
Classificação de carga dinâmica básica	C	9.95	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	5	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.212	kN
Velocidade de referência		38000	r/min
Velocidade-limite		24000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.025	
Fator de cálculo	f ₀	14	

Massa

Massa do rolamento	0.067	kg
--------------------	-------	----

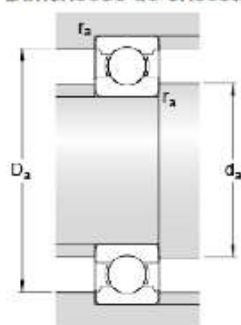
WBB1-8713

Dimensões



d	18	mm
D	24	mm
B	4	mm
d ₁	≈ 19.75	mm
D ₂	≈ 21.9	mm
r _{1,2}	min. 0.15	mm

Dimensões do encosto



d _a	min. 19	mm
D _a	max. 23	mm
r _a	max. 0.15	mm

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	0.806	kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	0.63	kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.029	kN
Velocidade de referência		56000	r/min
Velocidade-limite		36000	r/min
Fator de cálculo	k _r	0.015	
Fator de cálculo	f ₀	15.8	