

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS**

CAMPUS DIVINÓPOLIS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Evândalo Schmidt Paiva Neto

**Plataforma Modular Elevatória para Estacionamento de
Automóveis**

Divinópolis.

2018.

Evândalo Schmidt Paiva Neto

Plataforma Modular Elevatória para Estacionamento de Automóveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica, Computação e Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Oliveira.

Co-Orientador: Prof. Me. Ângelo Eugênio de Oliveira Franco.

Divinópolis.

2018.

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos e Valênia, meus irmãos Tito e Bruna, meus amigos, professores e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente à Deus, por me guiar e conceder mais uma chance de vida em 2018.

Aos meus pais, por me proporcionarem todo amor e suporte necessário para que esta caminhada fosse concluída.

Aos meus irmãos, pela devida paciência ao longo de todo o período árduo desta graduação.

Aos meus avós e padrinhos, por sempre acreditarem em meus objetivos.

Aos professores, servidores e auxiliares de serviços do CEFET-MG *campus* Divinópolis, em especial ao meu orientador Luiz Cláudio Oliveira.

Aos meus companheiros de Republica Tonteria, em especial Almir, Bruno, Felipe, Marconi, Lucas, Raul e ao agregado, Limão.

À Produtora 314^o e ao Amsterdam Pub, por me proporcionarem os momentos mais mágicos em Divinópolis.

À República Província (Ouro Preto-MG), minha segunda casa durante a graduação.

À todos os amigos setelagoanos (AET) e também aos divinopolitanos que conheci ao longo desta caminhada.

Aos meus colegas de trabalho da VLI, pela paciência e ensinamentos durante todo meu período de estágio.

Às pessoas *in memoriam* (Maria de Jesus e Adriany), que intercedem por mim nos momentos de toda dificuldade, mesmo estando em outro plano espiritual.

À Luzia, por último mas não menos importante, que me viu crescer e ajudou na formação do meu caráter.

“Somos insignificantes, por mais
que você programe sua vida, a qualquer
momento tudo pode mudar.”

SENNÁ, Ayrton.

RESUMO

O trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma plataforma modular elevatória para estacionamento de automóveis. Trata-se de um modelo automatizado no qual amplia o número de vagas em uma área limitada, oferecendo diversas vantagens. A carência de fabricantes nacionais implica em um equipamento de alto custo, cuja aplicação é uma tendência mundial. Além disso, pesquisas revelam que o mercado de estacionamentos inteligentes crescerá cerca de 31% até o ano de 2019, o que gera oportunidades e justifica a relevância comercial e profissional deste trabalho. Foi implementado um sistema microcontrolado que represente o funcionamento essencial de um estacionamento modular automatizado. A pesquisa permitiu perceber que o estacionamento em questão é o mais satisfatório em se tratando de Sistemas de Estacionamentos Modulares Automatizados (MAPS). Portanto, foram realizados os cálculos analíticos de projeto, simulação em *software* de elementos finitos e construção de um modelo físico fora de escala.

Palavras-chave: Estacionamento Modular Automatizado. Estacionamento Vertical. MAPS.

ABSTRACT

The work presents the development of a prototype of a modular lifting platform for car parking. It is an automated model in which it increases the number of vacancies in a limited area, offering several advantages. The lack of national manufacturers implies a high cost equipment whose application is a worldwide trend. In addition, surveys show that the smart parking market will grow by 31% by the year 2019, which creates opportunities and justifies the commercial and professional relevance of this work. A microcontrolled system has been implemented that represents the essential operation of an automated modular parking lot. The research allowed to realize that the parking in question is the most satisfactory in the case of Automated Modular Parking Systems (MAPS). Therefore, we performed the analytical design calculations, simulation in a finite element software and the construction of an off-scale physical model.

Keywords: Automated Modular Parking. Vertical Parking. MAPS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.5.1: Estacionamento rotativo vertical na Coréia	3
Figura 1.5.2: Torres de estacionamento da <i>Autostadt</i>	4
Figura 1.5.3: Parte interna das torres de estacionamento da <i>Autostadt</i>	4
Figura 1.5.4: Edifício garagem automatizado em Florianópolis	5
Figura 2.1: Elisha Otis demonstrando travas de segurança ao cortar as cordas ...	7
Figura 2.2: Elevador “ <i>Paternoster</i> ” do século 19	8
Figura 2.2.1.1: Seção transversal de um motor de passo de relutância variável..	10
Figura 2.2.2.1: Seção transversal de um motor de passo de ímã permanente	10
Figura 2.2.3.1: Seção transversal de um motor de passo híbrido	11
Figura 2.3.1: Medição de distância com sensor ultrassônico	11
Figura 2.4.1- Mancal de rolamento	12
Figura 2.5.1: Força cortante (Q) e Momento Fletor (M) de uma viga	13
Figura 2.8.1: Exemplo de análise utilizando	16
Figura 3.1.1.1.1- Base dos módulos projetada no <i>software SolidWorks</i>	18
Figura 3.1.1.2.1: Imagem de um parafuso sextavado	19
Figura 3.1.1.3.1: Corte transversal da haste.....	21
Figura 3.1.1.3.2: Diagrama de corpo livre da haste.....	21
Figura 3.1.1.3.3: Haste desenhada no <i>software SolidWorks</i>	23
Figura 3.1.1.5.1: Corrente e elos desenhados no <i>software SolidWorks</i>	25
Figura 3.1.1.5.2: Came de ligação entre a corrente e o módulo.....	26
Figura 3.1.1.6.1: Coroa desenhada no <i>software SolidWorks</i>	27
Figura 3.1.1.7.1.1: Representação do diagrama de forças no eixo do motor.....	27
Figura 3.1.1.8.1- Especificações do rolamento cilíndrico NN3072	29
Figura 3.1.1.8.2- Dimensões da caixa de rolamento	30
Figura 3.1.1.8.1: Torque máximo de partida do motor.....	30
Figura 3.1.1.8.2: Redução do torque de partida do motor.....	31
Figura 3.1.1.10.1: Diagrama de corpo livre da viga central.....	32
Figura 3.2.1: Montagem do módulo no <i>software SolidWorks</i>	33
Figura 3.2.2: Montagem da corrente no <i>software SolidWorks</i>	34
Figura 3.2.3: Montagem completa do projeto no <i>software SolidWorks</i>	34
Figura 3.3.1: Critérios para análise de elementos finitos da base.....	35
Figura 3.3.2: Malha utilizada na análise de elementos finitos da base.....	36

Figura 3.3.3: Parâmetros utilizados na simulação da haste.....	36
Figura 3.3.4: Parâmetros utilizados na simulação da barra.....	37
Figura 3.3.5: Zoom na malha utilizada na simulação da barra.....	37
Figura 3.3.6: Parâmetros utilizados na simulação do elo da corrente.....	38
Figura 3.3.7: Zoom na malha utilizada na simulação do elo da corrente.....	38
Figura 3.3.8: Parâmetros utilizados na simulação do came.....	39
Figura 3.3.9: Zoom na malha utilizada na simulação do came.....	39
Figura 3.3.10: Parâmetros utilizados na simulação da coroa.....	40
Figura 3.3.11: Zoom na malha utilizada na simulação da coroa.....	40
Figura 3.3.12: Parâmetros utilizados na simulação da estrutura.....	41
Figura 3.3.13: Zoom na malha utilizada na simulação da estrutura.....	41
Figura 3.4.2.1: Arduíno UNO	43
Figura 3.4.3.1: Motor de passo 28BYJ-48 e <i>driver</i>	43
Figura 3.3.4.1: Esquema de ligação do motor de passo, <i>driver</i> e Arduíno	44
Figura 3.4.5.1: Sensor HRSC-04	45
Figura 3.4.5.2: Esquemático de ligação entre o Arduíno e sensor ultrassônico ...	45
Figura 3.5.1: Impressão 3d das peças para o protótipo.....	46
Figura 3.5.2: Corte a laser do mdf para as peças do protótipo.....	46
Figura 3.5.3: Montagem do protótipo.....	47
Figura 3.5.4: Acionamentos eletrônicos da planta (sensor e atuador).....	47
Figura 4.1.3: Resultado da análise de deformações na base.....	49
Figura 4.1.4: Resultado da análise de tensões na base.....	49
Figura 4.1.5: Resultado da análise de tensões na base.....	50
Figura 4.1.6: Análise de tensões na haste.....	51
Figura 4.1.7: Análise de deformação da haste.....	51
Figura 4.1.8: Análise de tensão na Haste.....	52
Figura 4.1.9: Análise de deformação da barra.....	52
Figura 4.1.10: Análise de tensão da barra.....	53
Figura 4.1.11: Análise de alongamento no elo da corrente.....	53
Figura 4.1.12: Análise de tensão no elo da corrente.....	54
Figura 4.1.13: Análise de deformação no came.....	54
Figura 4.1.14: Análise de tensão no came.	55
Figura 4.1.15: Análise de deformação da coroa.....	55
Figura 4.1.16: Análise de tensão da coroa.....	55

Figura 4.1.17: Análise de deformação da estrutura.....	56
Figura 4.1.18: Análise de tensão da estrutura.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.7.1: Propriedades dos aços-carbono 1020, 1045 e ASTM A572 G50....	15
Tabela 3.4.3.1: Parâmetros do motor de passo 28BYJ-48	44
Tabela 3.4.5.1: Parâmetros do sensor HRSC-04.....	45

LISTA DE NOTAÇÕES E ACRÔNIMOS

Letras Latinas

IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Abrapark -	Associação Brasileira de Estacionamentos
a.C. -	Antes de Cristo
AVR -	<i>Advanced Virtual RISC</i> (RISC Virtual Avançada)
CAD -	<i>Computer Aided Design</i> (Projeto Assistido por Computador)
CAE -	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Assistida por Computador)
CCW -	<i>Counter Clock Wise</i> (Sentido Anti-horário)
CI -	Circuito Integrado
CW -	<i>Clock Wise</i> (Sentido Horário)
FEA -	<i>Finite Element Analysis</i> (Análise de Elementos Finitos)
FEM -	<i>Finite Element Methods</i> (Método dos Elementos Finitos)
I ² C -	<i>Inter Integrated Circuit</i> (Circuito Interintegrado)
IREDD -	<i>Infrared Emitting Diode</i> (Díodo Emissor de Infravermelho)
LCD -	<i>Liquid Cristal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED -	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
MAPS -	<i>Modular Automated Parking Systems</i> (Sistemas de Estacionamentos Modulares Automatizados)
MIPS -	Milhões de Instruções por Segundo
PLA -	Ácido Poliláctico
PMMA -	Polimetilmetacrilato
PWM -	Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)
RFID -	<i>Radio Frequency Identification</i> (Identificação por Radiofrequência)
SC -	Santa Catarina
SCL -	<i>Serial Clock Line</i> (Linha Serial de Tempo)
SDA -	<i>Serial Data Line</i> (Linha Serial de Dados)
UARTs -	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> (Transmissor/Receptor Assíncrono Universal)
USB -	Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)

Acrônimos

A -	Amper
cm -	Centímetro
d -	Distância
g -	Gramma
g/cm ³ -	Gramma por Centímetro Cúbico
g. mm ² -	Gramma Milímetro Cúbico
m -	Metro
mA -	Miliamper
Mbit/s -	Megabyte por Segundo
MHz -	Megahertz
mm -	Milimetro
mm ² -	Milímetro Quadrado
mm ³ -	Milímetro Cúbico
KB -	Quilo Byte
Kgf.cm -	Quilogramaforça Centímetro
P -	Peso
pF -	Picofaraday
R -	Raio
t -	Tempo
T -	Torque
v -	Velocidade
`` -	Polegada

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1- DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2- MOTIVAÇÃO.....	2
1.3- OBJETIVO GERAL.....	2
1.4- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.5- ESTADO DA ARTE.....	2
1.6- ESCOPO DO TRABALHO.....	5
2- REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1- MICROCONTROLADORES.....	8
2.2- MOTOR DE PASSO.....	9
2.2.1- MOTOR DE PASSO DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL.....	9
2.2.2- MOTOR DE PASSO DE ÍMÃ PERMANENTE.....	10
2.2.3- MOTOR DE PASSO HÍBRIDO.....	10
2.3- SENSOR ULTRASSÔNICO.....	11
2.4- MANCAIS DE ROLAMENTO.....	12
2.5- FORÇA CORTANTE E MOMENTO FLETOR.....	13
2.5.1- CONVENÇÃO DE SINAIS.....	13
2.5.2- DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA VIGA.....	13
2.6- TRANSMISSÃO POR CORRENTES.....	14
2.7- AÇOS.....	15
2.8- MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	15
3- METODOLOGIA.....	17
3.1- O PROJETO.....	17
3.1.1- ESTRUTURA.....	17
3.1.1.1- BASE DOS MÓDULOS.....	18
3.1.1.2- PARAFUSOS DE CONEXÃO ENTRE OS MÓDULOS E AS HASTES..	19
3.1.1.3- DIMENSIONAMENTO DAS HASTES DOS MÓDULOS.....	20
3.1.1.4- CÁLCULO DA BARRA DE SUSTENTAÇÃO DOS MÓDULOS.....	23
3.1.1.5- DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE.....	24
3.1.1.6- DIMENSIONAMENTO DA COROA.....	26
3.1.1.7- DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS.....	27
3.1.1.7.2- DIMENSIONAMENTO DO EIXO DO MOTOR.....	27

3.1.1.7.2- DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS MOTRIZES.....	28
3.1.1.8- DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO E DO MANCAL.....	29
3.1.1.9- DIMENSIONAMENTO DO MOTOR.....	30
3.1.1.10- DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EXTERNA.....	32
3.2- O PROJETO NO <i>SOFTWARE SOLIDWORKS</i>	34
3.3- SIMULAÇÃO <i>SOFTWARE ANSYS</i>	35
3.4- PROTÓTIPO.....	41
3.4.1- ESQUELETO FÍSICO DA PLANTA.....	42
3.4.2- MICROCONTROLADOR ARDUÍNO UNO.....	42
3.4.3- ATUADOR.....	43
3.4.4- <i>DRIVER</i> DE MOTOR DE PASSO ULN2003A.....	44
3.4.5- SENSOR HRSC-04.....	45
3.5- A MONTAGEM.....	46
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1- ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.....	49
4.2- O PROTÓTIPO.....	57
5- CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	59
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÊNDICE A.....	67
APÊNDICE B.....	71

1- INTRODUÇÃO

Apesar de relatos datarem o século XVI, os primeiros automóveis produzidos em grande escala surgiram nos Estados Unidos no ano de 1901, construídos por Ransom Olds (REOLDS, 2015). Em 1908, Henry Ford introduziu os conceitos de linha de montagem e produção em massa, fabricando mais de 15 milhões de automóveis do seu primeiro protótipo “Model T” em apenas 19 anos (HISTORY, 2015).

De acordo com Humberto (2015), atualmente a falta de mobilidade urbana é um tema que faz parte das grandes cidades brasileiras. Em 2013, dados do Denatran e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) informaram que o Brasil ultrapassou a marca de um carro para cada quatro habitantes (REIS, 2014). Crescendo onze vezes mais que a população, a frota de automóveis brasileira é o suficiente para cobrir toda a Ilha de Barbados no Caribe (BARROS, 2015).

Estes fatos recentes associam-se rigorosamente ao modo de vivência, que de fato transformou os cidadãos a serem extremamente dependentes dos automóveis para o deslocamento diário. Em face deste aumento, carência de mobilidade e conseqüente demanda por novos locais de estacionamento, é de extrema relevância a utilização de soluções alternativas para aumentar a capacidade de acondicionamento e facilitar o acesso às vagas.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma solução automatizada de uma plataforma modular para estacionamento rotativo vertical, complementando a carência da possibilidade de vagas e ampliando-as em um espaço previamente definido.

1.1- DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

No Brasil, as vendas de automóveis aumentaram significativamente, na qual o estado Minas Gerais é detentor da segunda maior frota nacional (RADAR NACIONAL, 2015). Conseqüentemente, assim como a quantidade de veículos, a procura por locais para estacionar também é ampliada, dificultando o acesso dos automóveis à essas áreas. Visto a necessidade de elaborar algumas alternativas, este trabalho aborda uma das possíveis soluções automatizadas para este

contratempo: uma plataforma modular elevatória para estacionamento de automóveis.

1.2- MOTIVAÇÃO

Soluções para a limitação de áreas de estacionamento são fundamentais, visto o aumento do número de veículos ao longo dos anos. Segundo a Abrapark (Associação Brasileira de Estacionamentos), o mercado de estacionamentos inteligentes crescerá 31% até o ano de 2019. Por conseguinte, a motivação para a realização deste trabalho está no fato da escassez de alternativas para estas adversidades em âmbito nacional. Além disso, otimizar e automatizar estacionamentos já existentes aplicando a técnica presente neste trabalho também é um propósito, visto que o número de vagas é ampliado em uma área limitada.

1.3- OBJETIVO GERAL

Analisar todos os aspectos fundamentais para a elaboração do protótipo de uma plataforma modular elevatória para estacionamento de automóveis. Além disso, estudar as técnicas necessárias, projetar e aplicar em uma planta fora de escala.

1.4- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar a literatura;
- Calcular, dimensionar e desenhar as estruturas;
- Montar parte eletrônica e programar o acionamento do motor;
- Montar a planta piloto;
- Realizar ensaios, analisar e discutir resultados;
- Produzir a parte literária, revisar e apresentar o trabalho.

1.5- ESTADO DA ARTE

Nos últimos anos, o mercado de estacionamentos tem revolucionado acentuadamente, alavancado pelo surgimento de novas tecnologias. Essas, facilitam o acesso às garagens e ao pagamento, bem como disponibilizam informações em tempo real sobre preços e localização de vagas livres.

Segundo a D.Y. Park (2013), o sistema de estacionamento automatizado facilitou o tráfego e tornou-se fundamental dentro de grandes cidades. Desde o surgimento dessas implementações, há cerca de 30 anos atrás, a D. Y. Park já desenvolveu mais de 10 mil sistemas de estacionamentos automatizados. A Figura 1.5.1 apresenta módulos para armazenamento de veículos que são fabricados por esta empresa.



Figura 1.5.1: Estacionamento rotativo vertical na Coréia (FANSIDED, 2016).

A *Autostadt* (cidade dos automóveis, em português), é um centro de visitantes localizado ao lado da fábrica da Volkswagen, na cidade de Wolfsburg. As principais atrações são duas torres de estacionamento, construídas com vidro

e aço galvanizado, onde os carros são guardados automaticamente após a fabricação.



Figura 1.5.2: Torres de estacionamento da *Autostadt* (ICARROS, 2013).

Cada uma das duas torres, que abriga 400 automóveis cada, tem 48 metros de altura e estão ligadas à fábrica por um túnel subterrâneo de 700 metros, onde os carros se deslocam automaticamente (ICARROS, 2013). Um sistema de correia transportadora direciona os veículos finalizados na fábrica até a base das torres, que são içados para seus respectivos módulos através de braços mecânicos girando em torno de uma viga central.



Figura 1.5.3: Parte interna das torres de estacionamento da *Autostadt* (ICARROS, 2013).

No Brasil, inaugurou-se o primeiro edifício garagem automatizado em 2015. Localizado em Florianópolis (SC), o sistema permite armazenar até três automóveis simultaneamente em até três minutos. Dispõe de 8 andares e 256 vagas, operadas por 19 robôs e 4 elevadores inteligentes. Esses dispositivos têm

a função de receber, armazenar e entregar veículos de até 1,9 metros de altura e 2,5 toneladas (G1, 2015).



Figura 1.5.4: Edifício garagem automatizado em Florianópolis (G1, 2015).

Em Minas Gerais, mais precisamente no distrito industrial de Uberlândia, encontra-se uma empresa especializada em estacionamentos verticais. Esses são construídos de forma modular e/ou rotativa, o que torna alguns destes modelos similares ao protótipo apresentado neste trabalho.

1.6- ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para o trabalho de conclusão de curso, a organização dar-se-á da seguinte maneira: o Capítulo 2, a partir da revisão da literatura, apresenta e contextualiza os métodos necessários para a elaboração do protótipo.

No Capítulo 3, apresenta-se, a metodologia adotada para a realização do trabalho, incluindo os cálculos de projeto, simulação e montagem da planta.

Os resultados e discussões são apresentados no Capítulo 4, seguido das considerações finais e propostas para trabalhos futuros observadas no Capítulo 5.

Por fim, o Capítulo 6 fornece as referências bibliográficas utilizadas para a fundamentação deste trabalho e o Anexo os desenhos técnicos das peças.

2- REVISÃO DA LITERATURA

Embora os elevadores pareçam uma invenção moderna, dispositivos utilizados para transportar pessoas ou materiais na vertical surgiram há séculos. De acordo com Schumm (2014), o matemático grego Arquimedes criou um elevador primitivo em 236 a.C., operado por cordas içadas e enroladas em torno de tambores. Em 1852, Elisha Graves Otis inventou uma trava de segurança que revolucionou a indústria de transporte vertical, fundando sua própria empresa, que ainda é conhecida como a maior fabricante de elevadores do mundo (UPTON, 2014).



Figura 2.1: Elisha Otis demonstrando travas de segurança ao cortar as cordas (OTIS, 2016).

Um dos projetos mais intrigantes daquela época foi a invenção do “*Paternoster*”: elevador de passageiros que consistia de uma cadeia de compartimentos abertos movendo-se lentamente em um *loop* sem paradas (ELEVATOR HISTORY, 2015). Inicialmente, este tipo de elevador foi nomeado “Elevador Cíclico”, porém foi reconhecido ao redor da Inglaterra e da Europa como “*Paternoster*” (em homenagem às duas primeiras palavras da oração do Pai Nosso em latim, devido ao seu *design* se assemelhar à um rosário religioso). Na segunda metade do século XX, este tipo de elevador tornou-se cada vez menos utilizado e até mesmo proibido, em virtude dos elevados riscos de lesões e mortes. Atualmente, os “*Paternosters*” modernos estão equipados com dispositivos de segurança e, em alguns casos, operados totalmente por

computadores, sendo considerados como o princípio básico dos estacionamentos rotativos verticais (ELEVATOR HISTORY, 2015).

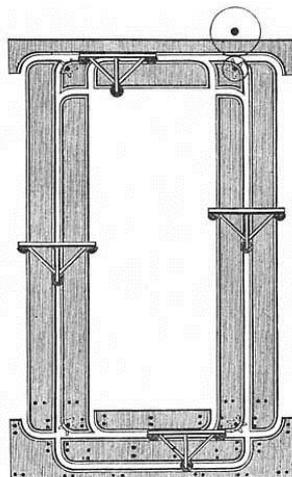


Figura 2.2: Elevador “*Paternoster*” do século 19 (THE ELEVATOR MUSEUM, 2016).

Partindo deste antiquado princípio combinado com técnicas recentes, como a automação por exemplo, elaborou-se o conceito de Sistemas de Estacionamentos Modulares Automatizados (*Modular Automated Parking Systems - MAPS*). Segundo Groover (2011), a automação é uma tecnologia na qual um processo ou técnica permite ser obtido sem a utilização do auxílio humano. Já Silveira e Santos (2010) definem como um conjunto de técnicas de sistemas ativos que atuam pela manipulação de dados adquiridos do âmbito em que operam.

Portanto, o projeto apresentado neste trabalho é uma das técnicas que compõem a concepção dos sistemas de estacionamentos modulares automatizados.

2.1- MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são circuitos integrados programáveis que possuem a arquitetura completa de um microcomputador. Desenvolvidos no início dos anos 80, tornaram-se de fundamental importância em se tratando de projetos eletrônicos robustos, nos quais são responsáveis por integrar *software* e *hardware*. Segundo Bolton (2010), os microcontroladores são a integração dos

microprocessadores com as entradas, saídas e outros periféricos em apenas um *chip*. Na maioria dos casos, possuem pinos de conexões externas de entradas e saídas, alimentação, *clock* e também sinais de controle.

Os microcontroladores AVR (RISC Virtual Avançada) da fabricante Atmel oferecem uma combinação única de desempenho, eficiência de energia e flexibilidade de *design*. São baseados em arquitetura voltada para a programação C, permitindo a utilização de códigos compactos. O dispositivo atinge um rendimento de 16 MIPS (milhões de instruções por segundo) em 16 MHz e opera entre 2.7V e 5.5V, equilibrando o consumo de energia e a velocidade de processamento (ATMEL, 2016).

2.2- MOTOR DE PASSO

Um motor de passo é um dispositivo eletromecânico que converte pulsos elétricos em movimentos mecânicos discretos (BOLTON, 2010). O eixo de um motor de passo gira em pequenos incrementos, a medida que pulsos de comando elétricos são aplicados. A direção e a velocidade de rotação estão relacionadas com a sequência e frequência dos pulsos de entrada, respectivamente.

2.2.1- MOTOR DE PASSO DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL

Este tipo de motor de passo é considerado o mais simples do ponto de vista estrutural. É composto por um rotor de ferro multidentado e bobinas. Quando as bobinas do estator são energizadas, os polos se tornam magnetizados, atraindo os dentes do rotor aos respectivos polos energizados. Segundo Bolton (2010), as linhas de força se assemelham à fios elásticos, que por sua característica tendem sempre à obter o menor comprimento. Isso faz com que o rotor se mova alinhando seus polos ao estator em busca da posição de menor relutância possível.

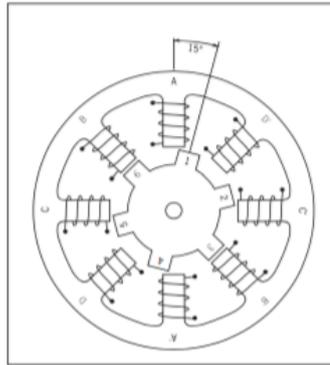


Figura 2.2.1.1: Seção transversal de um motor de passo de relutância variável (LABORATÓRIO DE GARAGEM, 2012).

2.2.2- MOTOR DE PASSO DE ÍMÃ PERMANENTE

O rotor é construído com ímãs permanentes e não possui dentes. Os pólos magnetizados do rotor provém uma maior intensidade de fluxo magnético e por isto o motor de ímã permanente exibe uma melhor característica de torque, quando comparado ao de relutância variável (BOLTON, 2010). Esse tipo de motor possui baixa resolução, com passos típicos de 7,5 a 15 graus (de 24 a 48 passos por revolução).

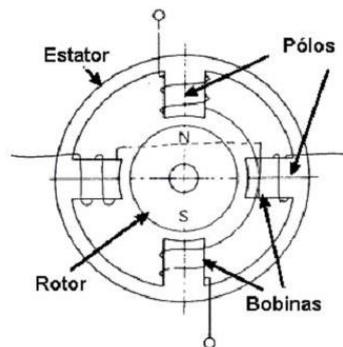


Figura 2.2.2.1: Seção transversal de um motor de passo de ímã permanente (LABORATÓRIO DE GARAGEM, 2012).

2.2.3- MOTOR DE PASSO HÍBRIDO

Bolton (2010) enfatiza que o motor de passo híbrido provém melhor desempenho com respeito à resolução de passo, torque e velocidade. Ângulos de passo típico de motores híbridos estão entre 3,6 a 0,9 graus (de 100 a 400 passos por volta). Esse tipo de motor combina as melhores características dos motores

de ímã permanente e relutância variável. O rotor é multidentado como no motor de relutância variável e contém um ímã permanente ao redor do seu eixo.

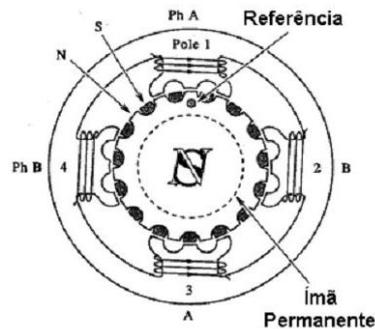


Figura 2.2.3.1: Seção transversal de um motor de passo híbrido (LABORATÓRIO DE GARAGEM, 2012).

2.3- SENSOR ULTRASSÔNICO

Os sensores de ultrassom são amplamente utilizados em aplicações industriais, devido ao fato de operarem por um tipo de radiação não sujeita a interferências eletromagnéticas. Esse tipo de sensor opera de modo eficiente, detectando os mais variados objetos e substâncias, em distâncias que vão desde milímetros à vários metros.

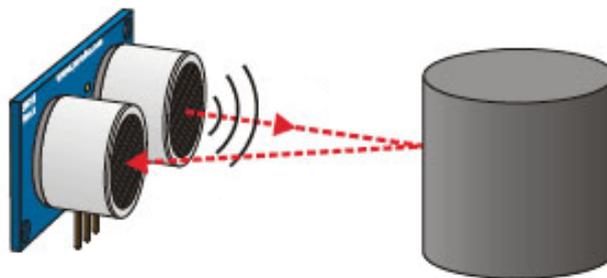


Figura 2.3.1: Medição de distância com sensor ultrassônico (LUIS LLAMAS, 2015).

Em se tratando do seu funcionamento, o sensor emite uma onda sonora que, ao encontrar um obstáculo, rebate de volta em direção ao módulo. O tempo de emissão e recebimento do sinal é utilizado para calcular a distância.

$$d = (v * t)/2 \quad (2.3.1)$$

Na qual:

- d é a distância do objeto;
- t é o tempo gasto para a onda sonora retornar ao sensor;
- v é a velocidade do som (considerada idealmente $340m/s$).

2.4- MANCAIS DE ROLAMENTO

Os mancais de rolamento são dispositivos mecânicos que servem como apoio ou guia fixo para eixos (COLLINS, 2004). Estes podem ser classificados de modo mais amplo como mancais de esferas (com elementos rolantes esféricos) e mancais de rolos (com elementos rolantes cilíndricos). Dentro destas duas categorias existem amplas variedades de configurações geométricas disponíveis, na qual são dimensionadas nos projetos de acordo com os tipos de cargas suportadas (radial e axial). Segundo Collins (2004), os padrões universais dos mancais de rolamento são estipulados pela American Bearing Association (ABMA), American National Standards Institute (ANSI) e International Standards Organization (ISO).



Figura 2.4.1- Mancal de rolamento (ALIEXPRESS, 2018).

As vantagens dos mancais de rolamentos incluem:

- Elevada confiabilidade com o mínimo de manutenção;
- Mínima lubrificação requerida, na qual o lubrificante pode ser válido pela vida útil do mancal;
- Adequado para operar em baixas velocidades;
- Baixo atrito de partida e baixa perda de potência devido ao arraste por fricção;
- Pode suportar cargas radiais e axiais;

- Permutabilidade quase universal (padronização de tamanho e rígido controle de tolerância);
- Aumento do ruído em operação alerta para ocorrência de falhas.

2.5- FORÇA CORTANTE E MOMENTO FLETOR

A força cortante representa o efeito da força cisalhante em uma seção transversal de uma barra. Já o momento fletor é a soma algébrica dos momentos relativos à seção transversal, ou seja, o efeito de flexão em uma seção transversal de uma barra, conforme Figura 2.5.1 (Beer Johnston, 1995).

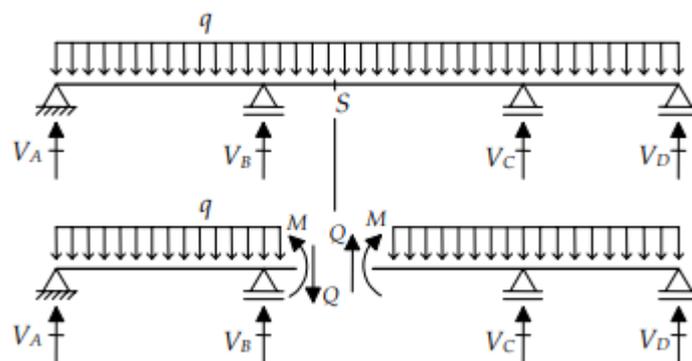


Figura 2.5.1: Força cortante (Q) e Momento Fletor (M) de uma viga (PUC RIO, 2018).

2.5.1- CONVENÇÃO DE SINAIS

Forças cortantes são positivas quando, entrando com as forças à esquerda de uma seção transversal, a resultante das forças na direção transversal for para cima.

Já os momentos fletores, estes são positivos quando, entrando com as forças e momentos à esquerda de uma seção transversal, a resultante momento na seção for no sentido horário.

2.5.2- DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA VIGA

Segundo Beer e Johnston (1995) o módulo de resistência à flexão (ω_x) representa em termos numéricos como determinado tipo de seção reage ao

esforço, o seja, representa à resistência da seção em relação ao esforço de flexão.

Para cada tipo de seção transversal tem-se uma equação diferente para se calcular o valor de ω_x e, a partir deste, dimensiona-se a seção transversal desejada, sendo ela quadrada, circular, retangular, perfis em I, U, L, dentre outros.

Para vigas de seção transversal circular, tem-se que:

$$\frac{\sigma_e}{k} = \frac{32Mf_{m\acute{a}x}}{\pi d^3} \quad (2.5.2.1)$$

Onde:

- σ_e é a tensão de escoamento do material;
- k é o coeficiente de segurança;
- $Mf_{m\acute{a}x}$ é o momento fletor máximo;
- d é o diâmetro.

Para vigas de seção transversal retangular, tem-se que:

$$\frac{\sigma_e}{k} = \frac{32Mf_{m\acute{a}x}}{\frac{bh^2}{6}} \quad (2.5.2.2)$$

Onde:

- b é a medida da base;
- h é a medida da altura.

Para vigas de seção em perfil industrial, tem-se que:

$$\omega_x = \frac{kMf_{m\acute{a}x}}{\sigma_e} \quad (2.5.2.3)$$

Na qual ω_x é encontrado nos catálogos dos fabricantes.

2.6- TRANSMISSÃO POR CORRENTES

A transmissão por correntes é muito utilizada em sistemas robustos, devido ao fato de transmitirem grande quantidade de energia no movimento. O aço é o principal material na constituição das correntes, o que permite trabalhar em locais extremos: presença de umidade, vapores, óleo e outros fatores externos.

2.7 AÇOS

Os aços são ligas metálicas formadas por ferro e carbono. Segundo Beer e Johnston (1995), o limite máximo de carbono nestas ligas é de até 2,11%. A diferença entre aço e ferro fundido está na quantidade de carbono, sendo este último superior à 2,11%. Na Tabela 2.7.1 encontram-se propriedades de três tipos de aços-carbono: 1020, 1045 e ASTM A572 G50.

Tabela 2.7.1: Propriedades dos aços-carbono 1020, 1045 e ASTM A572 G50.

Propriedades	1020	1045	ASTM A572 G50
Densidade (<i>kg/m³</i>)	7870	7870	7805,73
Tensão de Escoamento (MPa)	350	450	345
Tensão de Ruptura (MPa)	420	585	450
Alongamento (50mm)	15%	16%	21%

2.8- MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos (FEM) é uma técnica numérica que encontra soluções aproximadas para problemas de valor de contorno. Esse aplica equações diferenciais parciais como método de resolução e também pode ser referido como análise de elementos finitos (FEA). O FEM subdivide um problema em partes menores e mais simples, cujas funções modeladores destes elementos são então montadas em um sistema de equações que representa-o como um todo.

Portanto, o FEM utiliza métodos de cálculo para aproximar a solução do problema, minimizando eficientemente o erro associado ao projeto.

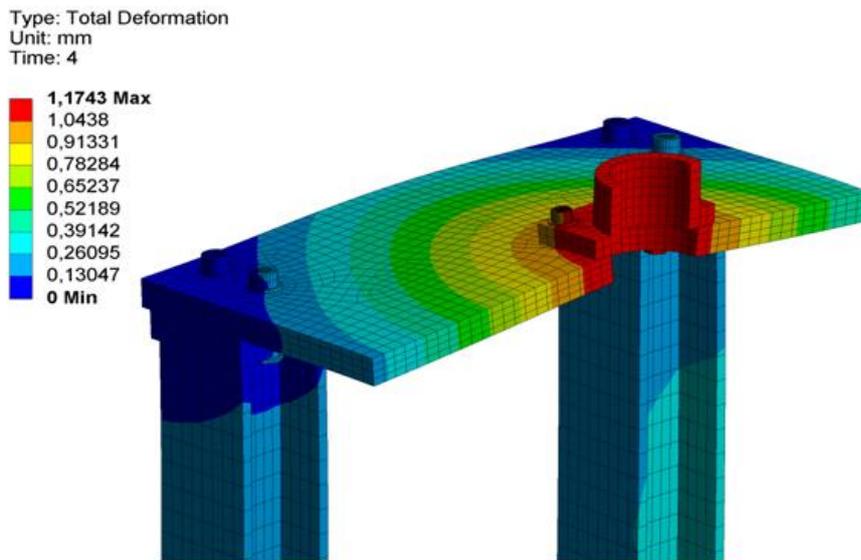


Figura 2.8.1: Exemplo de análise utilizando FEM (EMG AUTOMATION, 2016).

3- METODOLOGIA

O trabalho de conclusão de curso consiste em uma pesquisa envolvendo três áreas da engenharia: Engenharia Mecânica, Engenharia da Computação e Engenharia Eletrônica, com o desenvolvimento de uma plataforma modular para estacionamento rotativo vertical.

A etapa inicial para a execução deste projeto foi realizada a partir de estudos teóricos. Por meio de pesquisas bibliográficas em livros e artigos, adquiriu-se conhecimento necessário sobre microcontroladores, motores de passo, sensores ultrassônicos, método dos elementos finitos, dentre outros. Além disso, foi realizada uma revisão sobre os conceitos de forças, torques e tensões abordados na parte da mecânica do curso de Engenharia Mecatrônica.

Após o cumprimento da etapa de estudos, deu-se início a definição de alguns parâmetros a serem aplicados no protótipo.

3.1- O PROJETO ANALÍTICO

O projeto da plataforma modular elevatória para estacionamento de veículos deve respeitar alguns limites impostos inicialmente:

- Massa total de cada veículo utilizado: 3.000kg;
- Tamanho dos módulos: 2.640mm x 5.500mm;
- Altura dos módulos: 2.600mm;
- Torque do motor: 50.000Nm;
- Diâmetro mínimo da coroa: 2.600mm;
- Materiais: Aços 1020, 1045 e ASTM A572 Grau 50;
- Fator de segurança: 2,5 de acordo com a norma da ABNT.

3.1.1- ESTRUTURA

Visando atender as necessidades de projeto e utilizar materiais encontrados em âmbito comercial, estipulou-se os aços 1020, 1045 e ASTM A572 Grau 50 como matéria prima desta proposta.

3.1.1.1- BASE DOS MÓDULOS

A base dos módulos foi projetada através das dimensões impostas inicialmente, de acordo com o tamanho médio dos automóveis de até 3.000kg. Nesta base, utilizou-se o aço ASTM A572 Grau 50 como material e, com auxílio do software de simulação em elementos finitos, verificou-se a espessura da chapa de aço estipulada, 10mm.

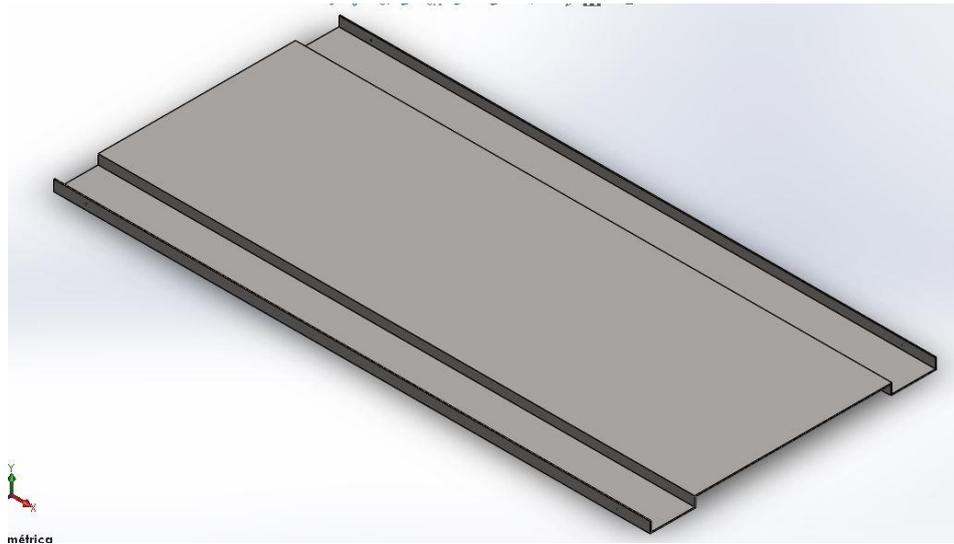


Figura 3.1.1.1.1- Base dos módulos projetada no *software SolidWorks*.

Para cálculo analítico da massa de cada base, utilizou-se o volume e a densidade do material proposto:

- Volume das laterais maiores:

$$V_{lmaior} = 2 \times 0,1m \times 5,5m \times 0,01m = 0,11m^3.$$

- Volume das laterais menores:

$$V_{lmenor} = 2 \times 0,05m \times 5,5m \times 0,01m = 0,0055m^3.$$

- Volume da frente:

$$V_{frente} = 1 \times 0,1m \times 2,4m \times 0,01m = 0,0024m^3.$$

- Volume das placas do chão:

$$V_{chão} = 1 \times 2,4m \times 5,5m \times 0,01m = 0,132m^3.$$

- Volume total da base:

$$V_{total} = V_{lmaior} + V_{lmenor} + V_{frente} + V_{chão} = 0,25m^3$$

Portanto, para a massa de cada base, tem-se que:

$$m = V_{total} \times D = 0,25m^3 \times 7805 \frac{kg}{m^3} = 1952kg.$$

3.1.1.2- PARAFUSOS DE CONEXÃO ENTRE OS MÓDULOS E AS HASTES

A fim de calcular as dimensões dos parafusos dos módulos, considerou-se a máxima tensão de cisalhamento suportada, de acordo com o fator de segurança utilizado no projeto. Escolheu-se o parafuso sextavado devido à acessibilidade de aquisição e fácil aplicação. O material utilizado para os cálculos foi o aço 1020.



Figura 3.1.1.2.1: Imagem de um parafuso sextavado (Casa e Construção, 2018).

Desta forma, acrescentando o peso dos automóveis às gaiolas, tem-se que a força total exercida nos travamentos entre a base e a haste é de $4.952kgf$, o equivalente a $48.579,12N$.

Sendo assim:

$$F_p = \frac{P_t}{n} \quad (3.1.1.2.1)$$

Onde:

- F_p é a força em cada parafuso;
- P_t é o peso total do módulo somado ao carro;
- n é a quantidade de parafusos.

Inicialmente a estrutura foi calculada considerando apenas um parafuso. Entretanto, devido ao momento de torsor entre a haste e o módulo, necessitou aumentar esta quantidade, adotando-se quatro parafusos para cada conexão.

Assim:

$$F_p = \frac{48.579,12N}{16} = 3.036,2N$$

Levando em consideração a tensão admissível (σ_{adm}) do aço 1020, pode-se calcular a área de cada parafuso:

$$A = \frac{F_p}{\sigma_{adm}} = \frac{3.036,2N}{140MPa} = 21,88mm^2$$

Sendo que, através desta área, calculou-se o diâmetro de cada parafuso da haste :

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 18,57}{3,14}} = 5,27mm$$

A fim de dimensionar de forma segura e considerando o custo benefício dos parafusos sextavados encontrados no mercado, optou-se por utilizar o tamanho de 6mm de diâmetro (rosca métrica M6).

3.1.1.3- DIMENSIONAMENTO DAS HASTES DOS MÓDULOS

Para dimensionamento da parte lateral da haste dos módulos, utilizou-se como premissa a tensão máxima de cisalhamento que poderia ocorrer na barra, em decorrência dos parafusos. A força aplicada entre cada uma das quatro conexões da barra com a haste é de 10.401,66N, sendo que o material de sua composição é o aço 1020. Desta forma, a área mínima da seção transversal pode ser encontrada através da equação da tensão de cisalhamento:

$$A = \frac{F}{\sigma_{cis}} = \frac{10.401,66N}{140MPa} = 74,30mm^2$$

Atribuiu-se 150mm como largura da haste, a fim de encontrar a espessura (e) adequada, conforme Figura 3.1.1.3.1.



Figura 3.1.1.3.1: Corte transversal da haste.

Contudo, devido ao diâmetro dos parafusos de conexão entre a base e a haste, na área mais suscetível a ocorrer o cisalhamento, a largura é de 138mm. Portanto:

$$e = \frac{A}{l} = \frac{74,30\text{mm}^2}{138\text{mm}} = 0,54\text{mm}$$

Para cálculo da parte superior da haste, utilizou-se o cálculo baseado em vigas, através do momento fletor máximo. De acordo com a Figura 3.1.1.3.2, dividiu-se a barra em duas partes, sendo representada semelhantemente à uma viga apoiada.

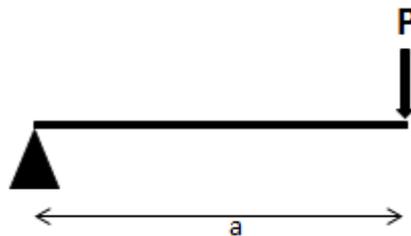


Figura 3.1.1.3.2: Diagrama de corpo livre da haste.

A largura da parte superior da haste é de 150mm, já que segue a medida de sua lateral. Para calcular o peso aproximado da mesma foram utilizados o volume e a densidade do material, tem-se:

- Volume das laterais:

$$V_{laterais} = 2 \times 0,015\text{m} \times 2,6\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,0117\text{m}^3.$$

- Volume da barra central:

$$V_{barra\ central} = 0,05\text{m} \times 2,67\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,02\text{m}^3.$$

- Volume total da barra:

$$V_{total} = V_{barra\ central} + V_{laterais} = 0,03117\text{m}^3$$

Portanto, para a massa da haste, tem-se que:

$$m = V_{total} \times D = 0,03117m^3 \times 7870 \frac{kg}{m^3} = 249,2kg.$$

De acordo com Beer e Johnston (1995), o momento fletor máximo da Figura 3.1.1.3.2 é dado por:

$$|Mf_{m\acute{a}x}| = Pa \quad (3.1.1.3.1)$$

Onde:

- P é a quarta parte da soma do peso do automóvel, base do módulo e hastes;

- a é a distância da força aplicada.

Sendo assim:

$$P = (1.965kg + 3.000kg + 249,2kg + 249,2kg) * 9,81/4 = 13.402,91N$$

$$|Mf_{m\acute{a}x}| = (13.402,91N * 1,34m) = 19.960Nm$$

De acordo com a fórmula 2.5.2.2, a altura (h) é dada por:

$$h = \sqrt{\frac{k|Mf_{m\acute{a}x}|}{6b\sigma_e}} = \sqrt{\frac{2,5 * 44.157,60}{6 * 0,15 * 350 * 10^6}} = 0,01031m = 10,31mm$$

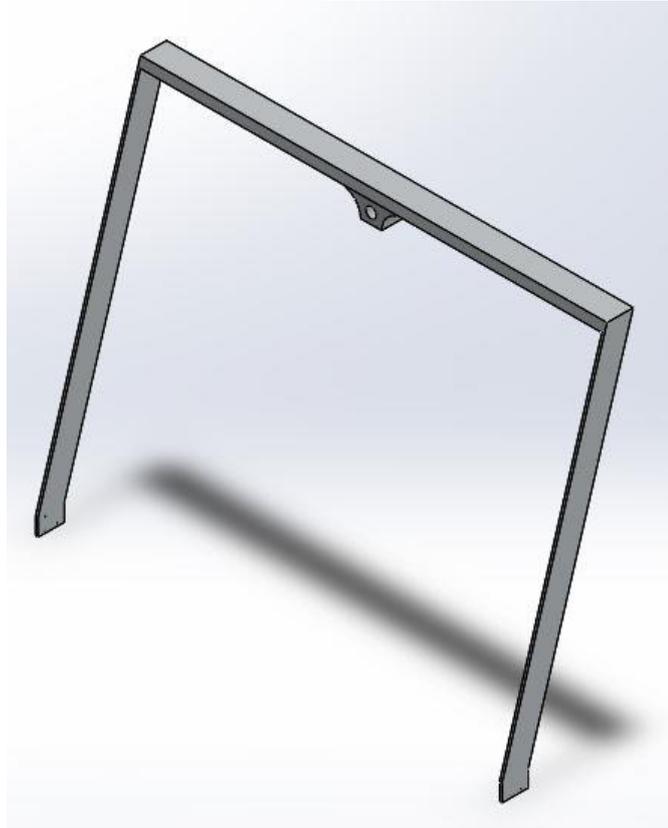


Figura 3.1.1.3.3: Haste desenhada no *software SolidWorks*.

3.1.1.4- CÁLCULO DA BARRA DE SUSTENTAÇÃO DOS MÓDULOS

Considerando a barra de sustentação como uma viga circular maciça, o peso do conjunto módulo/automóvel de 5.500kg (53.611,65N) e utilizando os cálculos de momento fletor máximo para dimensionamento da peça, a partir da fórmula 3.1.1.3.1:

$$|Mf_{m\acute{a}x}| = \frac{Pa^2}{2} = \frac{53.611,65N * 0,2^2}{2} = 1.072,23Nm$$

Onde:

- p é a força aplicada;
- l é a distância do engastamento até a força;

Portanto, o diâmetro da barra é dado por:

Assim, através da fórmula 2.5.2.1, o diâmetro da barra é dado por:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32k|Mf_{m\acute{a}x}|}{\pi\sigma_e}} = 42,73mm$$

3.1.1.5- DIMENSIONAMENTO DA CORRENTE

Para dimensionamento da corrente, inicialmente estipulou-se o passo, no valor de 420mm. Em seguida, para que um módulo não tenha contato físico com os demais, a distância entre os mesmos deve ser maior que a altura da gaiola, equivalente a 2.600mm. Assim, o número de mínimo de elos entre um módulo e outro é dado por:

$$n = \frac{A_{mod}}{p} = \frac{2.600}{420} = 6,19$$

Onde:

- n é o número de elos;
- A_{mod} é a altura do módulo;
- p é passo da corrente;

Desta maneira, o número mínimo de elos entre as gaiolas são 7, incluindo um elo de suporte das as mesmas. Por conseguinte, a distância entre as gaiolas é de 2.940mm, estipulando a espessura da corrente de 21mm, que será testada pelo *software Ansys* através do método dos elementos finitos.

Para cálculo do diâmetro do pino da corrente, considerou-se o peso total do conjunto corrente, módulos e carros como sendo 400.KN. Esse valor é bem superior ao valor real, visto que apenas os módulos e carros totalizam aproximadamente 322KN. Dessa forma, a força divide-se entre as duas correntes, resultando em 200KN de força em cada uma.

Assim, a área do pino é dada por:

$$A = \frac{F_p}{\sigma_{adm}} = \frac{200.000N}{140MPa} = 1.428,57mm^2$$

Através da área, calculou-se o diâmetro de cada pino da corrente:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1428,57}{3,14}} = 42,65mm$$

Para o projeto, considerou-se aumentar o diâmetro do pino, levando em consideração a segurança e o custo-benefício deste material. O valor de 49mm foi

arbitrado para o diâmetro, sendo que o mesmo será ajustado por interferência com os elos da corrente.

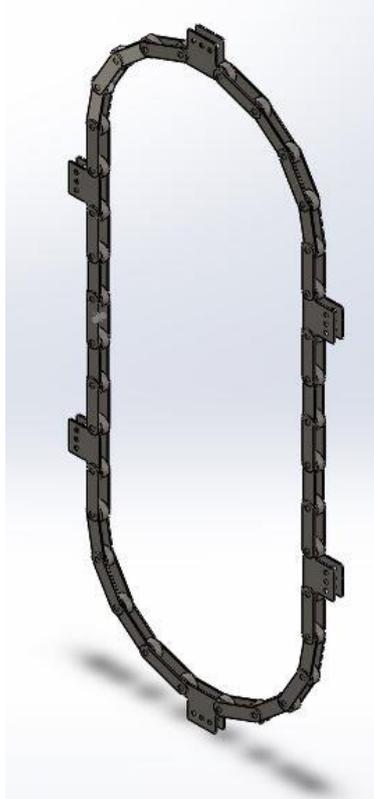


Figura 3.1.1.5.1: Corrente e elos desenhados no *software SolidWorks*.

Neste caso, o tamanho da corrente é diretamente influenciado pelo passo e quantidade de elos, então:

$$l = pn = 420(42) = 17.640mm$$

Onde:

- l é o comprimento da corrente;
- p é o número de passos;
- n é o número de elos.

Sendo assim, o número mínimo de elos entre os módulos é de 7 elos.

Para afixar as gaiolas na corrente, projetou-se um elo especial, no qual possui três furos para encaixe de um came, responsável por unir os módulos na corrente, conforme Figura 3.1.1.5.1.

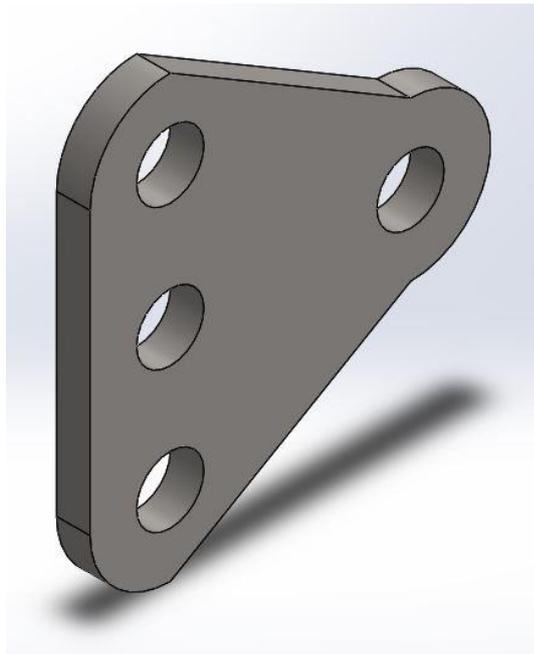


Figura 3.1.1.5.2: Came de ligação entre a corrente e o módulo.

Afim de dimensionar os parafusos de travamento, considerou-se a carga aplicada no valor de 55KN, dividindo-se em 9.167N entre cada parafuso. Portanto, a área de cada parafuso é dada por:

$$A = \frac{F_p}{\sigma_{adm}} = \frac{9.167N}{140MPa} = 65,48mm^2$$

Através da área, calculou-se o diâmetro de cada parafuso:

$$\phi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 1428,57}{3,14}} = 9,13mm$$

3.1.1.6- DIMENSIONAMENTO DA COROA

A coroa do projeto foi dimensionada com auxílio direto do *software* de elementos finitos, respeitando o diâmetro mínimo proposto inicialmente para que não haja contato físico entre as gaiolas, 2.600mm. Na próxima sessão serão apresentados os resultados deste dimensionamento.

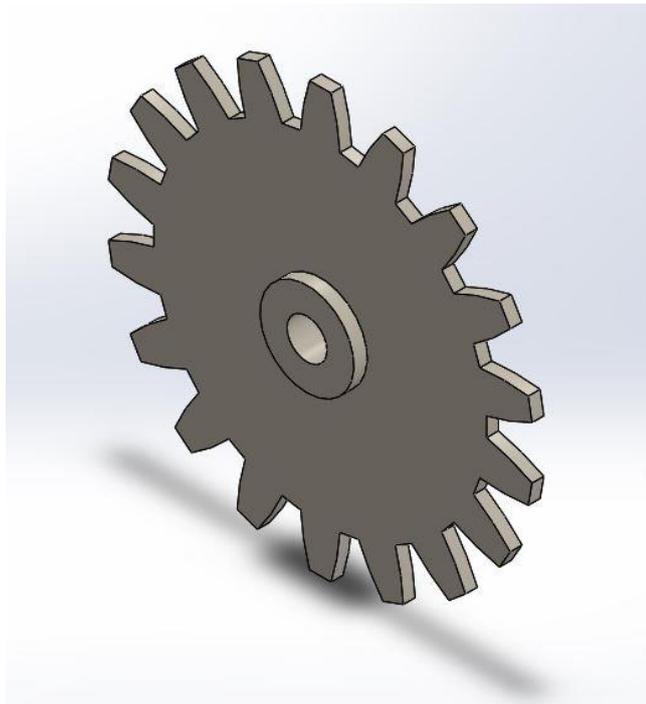


Figura 3.1.1.6.1: Coroa desenhada no *software SolidWorks*.

3.1.1.7- DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS

3.1.1.7.1- DIMENSIONAMENTO DO EIXO DO MOTOR

Para cálculo do eixo do motor, levou-se em consideração o momento fletor máximo, cálculo análogo à barra de sustentação dos módulos. Cabe ressaltar que, devido à tensão da corrente, a força resultante estará no sentido vertical para cima, conforme Figura 3.1.1.7.1.1.

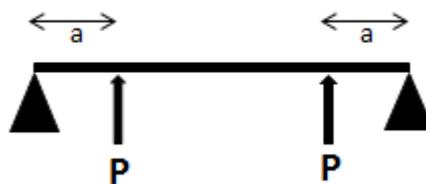


Figura 3.1.1.7.1.1: Representação do diagrama de forças no eixo do motor.

Desta forma, tem-se que:

$$|M_{f_{\text{máx}}}| = \frac{Pa^2}{2} = \frac{400.000 * 0,5^2}{2} = 24.525Nm$$

Onde:

- p é a força aplicada;
- l é a distância do engastamento até a força.

Para calcular o torque do motor no eixo, considerando o peso da estrutura em 400KN e o diâmetro da coroa de 2.383mm, tem-se que através da equação do torque:

$$T = Fd \quad (3.1.1.7.1.1)$$

Onde:

- T é o torque;
- F é a força;
- d é a distância do ponto da força ao centro do eixo (raio primitivo da coroa).

Assim:

$$T = Fd = 400\text{KN}(1,2\text{m}) = 480\text{KNm}$$

Partindo do princípio da tensão máxima de cisalhamento, tem-se que:

$$d = \left[\frac{32(2,5)}{\pi * 350 * 10^6} (24.525^2 + 480.000^2)^{1/2} \right]^{1/3} = 327\text{mm} = 0,327\text{m}$$

Utilizando a fórmula da energia da distorção, :

$$d = \left[\frac{16(2,5)}{\pi * 350 * 10^6} (4(24.525^2) + 3(480.000^2))^{1/2} \right]^{1/3} = 312\text{mm} = 0,312\text{m}$$

3.1.1.7.2- DIMENSIONAMENTO DOS EIXOS MOTRIZES

Analogamente, para dimensionamento dos eixos motrizes, o momento fletor máximo é dado por:

$$|Mf_{m\acute{a}x}| = Pa = 200.000\text{N}(0,5\text{m}) = 100.\text{KN}$$

Partindo do princípio da tensão máxima de cisalhamento:

$$d = \left[\frac{32(2,5)}{\pi * 350 * 10^6} (100.000^2 + 480.000^2)^{1/2} \right]^{1/3} = 345\text{mm} = 0,345\text{m}$$

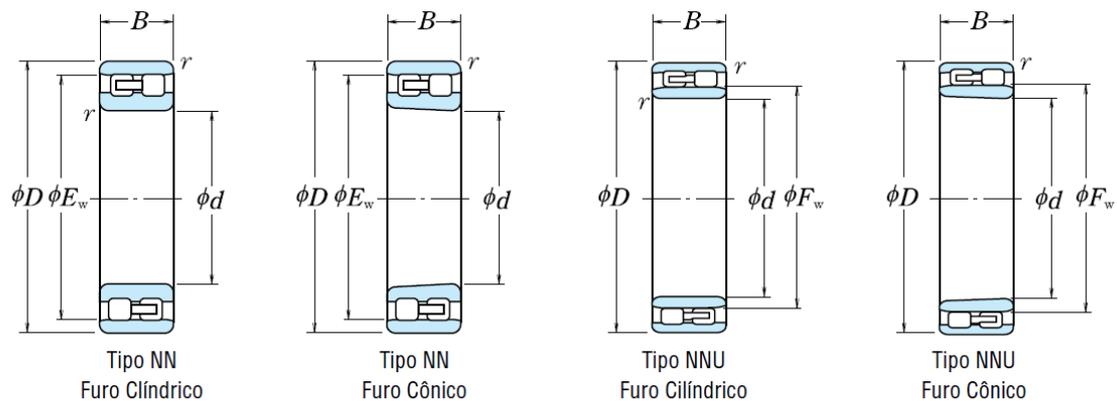
Utilizando a fórmula da energia da distorção:

$$\phi = \left[\frac{16(2,5)}{\pi * 350 * 10^6} (4(100.000^2) + 3(480.000^2))^{1/2} \right]^{1/3} = 315\text{mm} = 0,315\text{m}$$

3.1.1.8- DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO E DO MANCAL

Para dimensionamento do rolamento e do mancal, considerou-se que os mesmos teriam que suportar o peso de todo o conjunto (corrente, coroa, eixo, módulos e automóveis). Desta maneira, o peso que cada mancal deverá suportar é de 200KN.

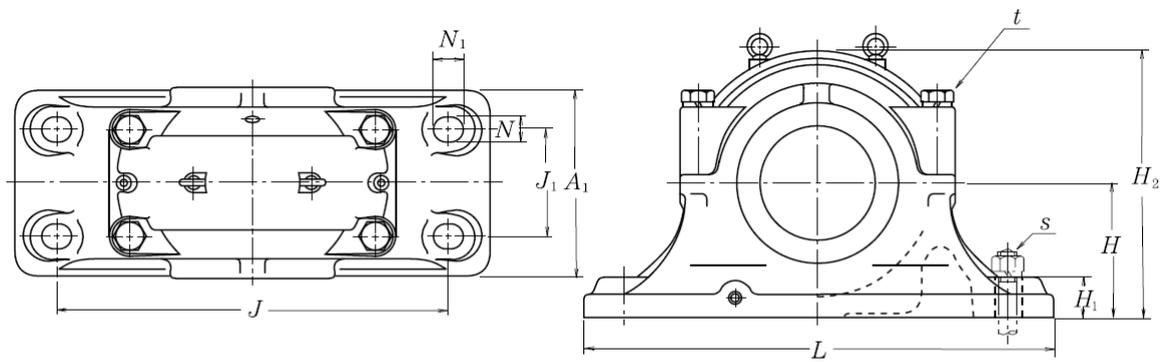
Nesta aplicação escolheu-se os mancais de rolamento de rolos cilíndricos, devido ao fato de suportarem maiores cargas radiais que os rolamentos comuns, além de serem encontrados com facilidade no mercado. O catálogo do fabricante NSK, indica o rolamento NN3072 como adequado para este valor de carga e diâmetro do eixo, conforme Figura 3.1.1.8.1:



d	Dimensões (mm)					Capacidade de Carga Básica (N)		Limite de Rotação (rpm)	
	D	B	r mín.	F_w	E_w	C_r	C_{0r}	Graxa	Óleo
360	540	134	5	—	493	1 700 000	3 450 000	950	1 200

Figura 3.1.1.8.1- Especificações do rolamento cilíndrico NN3072 (NSK, 2018).

Já a caixa de rolamento escolhida foi a SD3076S, do mesmo fabricante.



Diâmetro do Eixo (mm) d_1	Número da Caixa (1)		Dimensões (mm)										
	Lado Livre	Lado Fixo	D_{H8}	H_{h13}	J	N	N_1	A	L	A_1	H_1	H_2	J_1
360	SD 3076 S	SD 3076 SG	560	340	900	50	67	410	1 080	390	100	665	260

Figura 3.1.1.8.2- Dimensões da caixa de rolamento (NSK, 2018).

Cabe ressaltar que o diâmetro dos eixos serão diferente dos cálculos analíticos, devido ao diâmetro interno do rolamento NN3072 ser maior.

3.1.1.9- DIMENSIONAMENTO DO MOTOR

Para cálculo do eixo do motor, a situação de maior torque resultante levada em consideração é quando três módulos consecutivos estão ocupados em apenas um lado da estrutura, conforme Figura 3.1.1.9.1.

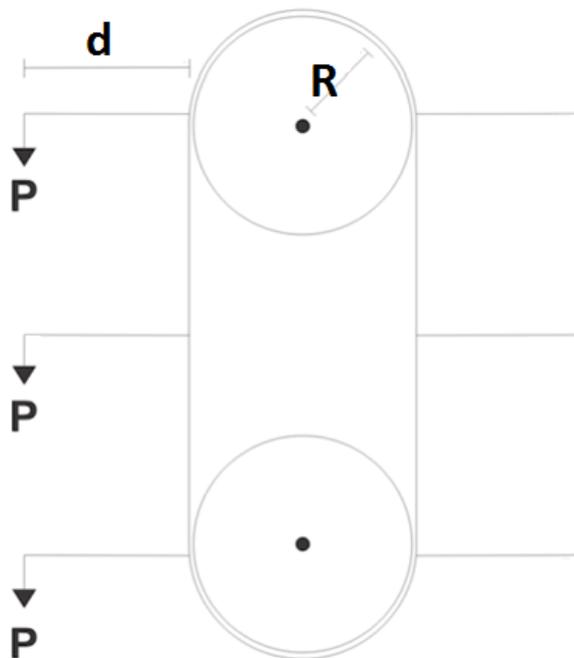


Figura 3.1.1.9.1: Torque máximo de partida do motor.

O torque é dado por:

$$T = F(r + d) \quad (3.1.1.7.1)$$

Onde:

- T é o torque;
- F é o peso dos carros;
- (r+d) é a distância até o centro do eixo.

$$T = 88.290 * 1,6 = 141.264Nm.$$

Entretanto, é possível posicionar os carros de forma que minimize o torque resultante necessário para o motor entrar em movimento, direcionando o automóvel para o módulo correto e, conseqüentemente, posicionar as gaiolas em uma configuração que possibilite contrabalancear o peso. Desta maneira, o torque inicial pode ser reduzido para um menor valor no início do giro do sistema, conforme Figura 3.1.1.7.2.

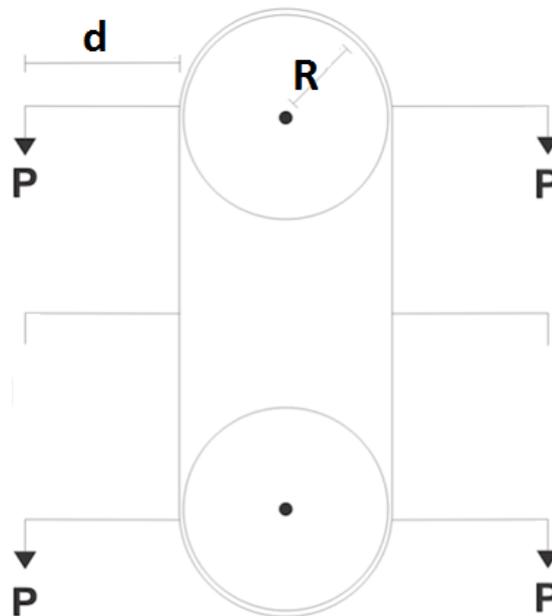


Figura 3.1.1.8.2: Redução do torque de partida do motor.

Para escolha do motor, existem várias configurações possíveis, desde potência, torque, dentre outros. Neste trabalho não será dimensionado o motor a ser utilizado, porem, o fabricante Nord por exemplo, possui motorreductores

comerciais que se aplicam bem à este sistema. Estas são algumas características desses produtos (NORD, 2018):

- Os redutores fornecem alta capacidade de cargas radiais e axiais e alcançam altos torques de saída, de até 100.000 Nm;
- Motoredutores possuem freios e vários outros opcionais, podendo ser escolhidos conforme necessidade;
- Possuem redução de até 14.430,31:1.

3.1.1.10- DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EXTERNA

Dimensionar-se-á a viga superior da estrutura em formato de perfil, devido ao custo benefício e à acessibilidade comercial. Sendo assim, calcula-se o momento fletor, conforme Figura 3.1.1.10.1.

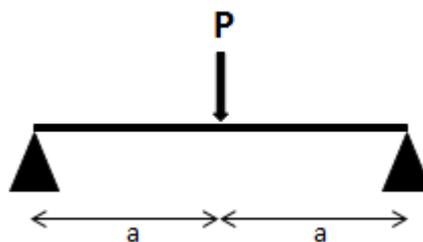


Figura 3.1.1.10.1: Diagrama de corpo livre da viga central.

Segundo Beer e Johnston (1995), o momento fletor é dado por:

$$Mf_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{4}$$

Portanto:

$$Mf_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{4} = \frac{200.000N(1,68m)}{4} = 336KNm$$

Utilizando a Fórmula 2.5.2.3:

$$\omega_x = \frac{kMf_{m\acute{a}x}}{\sigma_e} = \frac{2,5(336.000)}{345 * 10^6} = 2.434,78mm^3$$

Diante deste resultado, o perfil escolhido foi o W310x179 (H) do catálogo do fabricante Gerdau (GERDAU, 2018). O restante da estrutura foi dimensionada com auxílio direto do *software* de elementos finitos, análogo ao dimensionamento

da coroa. Respeitou-se a distância entre centros das coroas, para se adequar ao tamanho da corrente. Na próxima sessão serão apresentados os desenhos e resultados deste dimensionamento.

3.2- O PROJETO NO SOFTWARE SOLIDWORKS

Conforme imagens presentes nas seções anteriores, cada parte deste projeto foi desenhada no *SolidWorks* e, posteriormente, realizada a montagem. Além disso, através destes desenhos foi possível simular as peças no *software Ansys* analisando por meio do método dos elementos finitos, que será demonstrado em seção posterior.

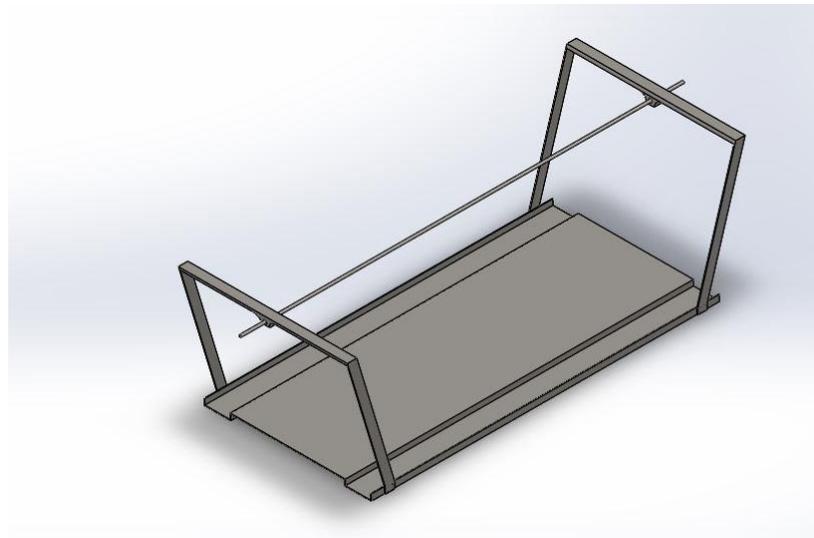


Figura 3.2.1: Montagem do módulo no *software SolidWorks*.

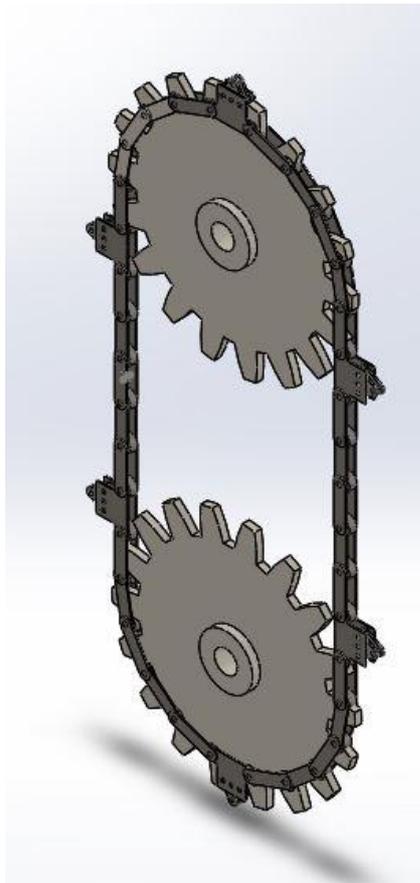


Figura 3.2.2: Montagem da corrente no *software SolidWorks*.

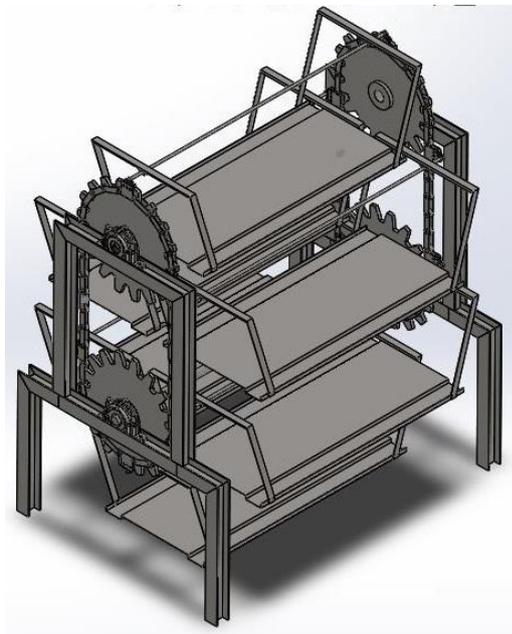


Figura 3.2.3: Montagem completa do projeto no *software SolidWorks*.

3.3- SIMULAÇÃO NO SOFTWARE ANSYS

Com intuito de simular os resultados obtidos analiticamente e verificar o dimensionamento das estruturas, utilizou-se o método dos elementos finitos. Todas as simulações foram realizadas com 32.000 nós, aplicando a malha *default* do *software*. Este é o valor máximo permitido, devido ao fato de se tratar de uma versão acadêmica do programa. Entretanto, em pontos de maior concentração de tensões, como furos por exemplo, refinou-se a malha com intuito de aumentar o número de iterações e minimizar os erros de cálculos.

Desta forma, optou-se pelo *software* de simulação Ansys e iniciaram-se as análises a partir da base dos módulos. Os resultados das simulações serão discutidos na seção posterior deste trabalho.

A proposta inicial foi de 10mm de espessura da base, levando em consideração dois pontos de cargas de 15.000N cada um, reproduzindo o peso dos automóveis em contato com a base modular. A base foi engastada nos quatro pontos onde as hastes são acopladas e, além disso, adicionou-se a força da gravidade na simulação, conforme Figura 3.3.1.

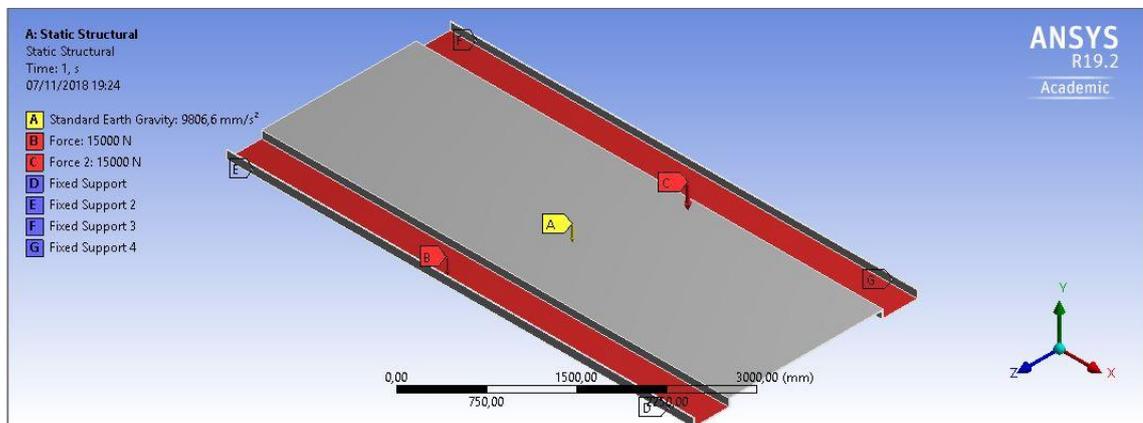


Figura 3.3.1: Critérios para análise de elementos finitos da base.

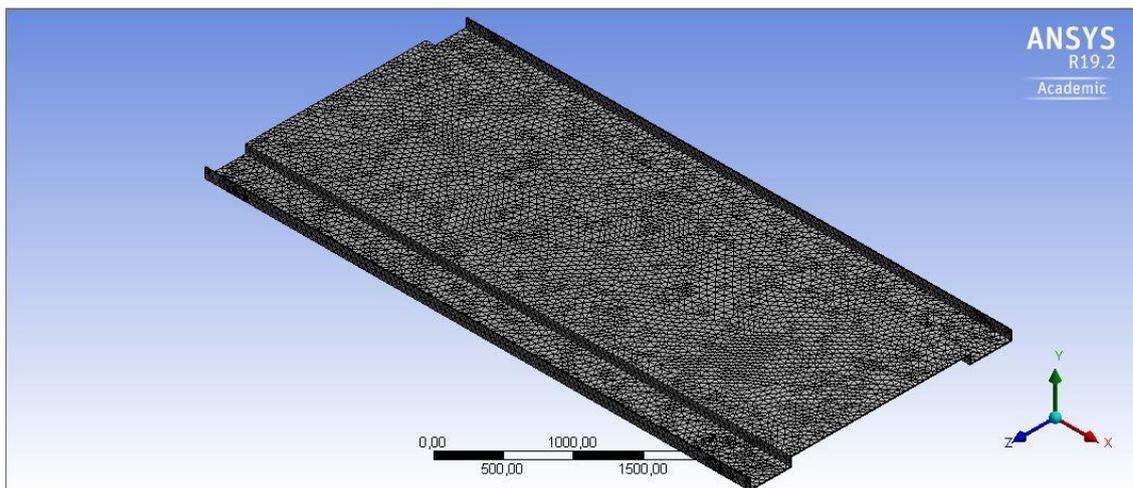


Figura 3.3.2: Malha utilizada na análise de elementos finitos da base.

Em se tratando da haste, considerando o peso do conjunto carro/base de 50KN, aplicou-se as forças resultantes nos oito parafusos, no valor de 3.125N. Além disso, introduziu-se a gravidade, engastando a barra no ponto B, conforme Figura 3.3.3.

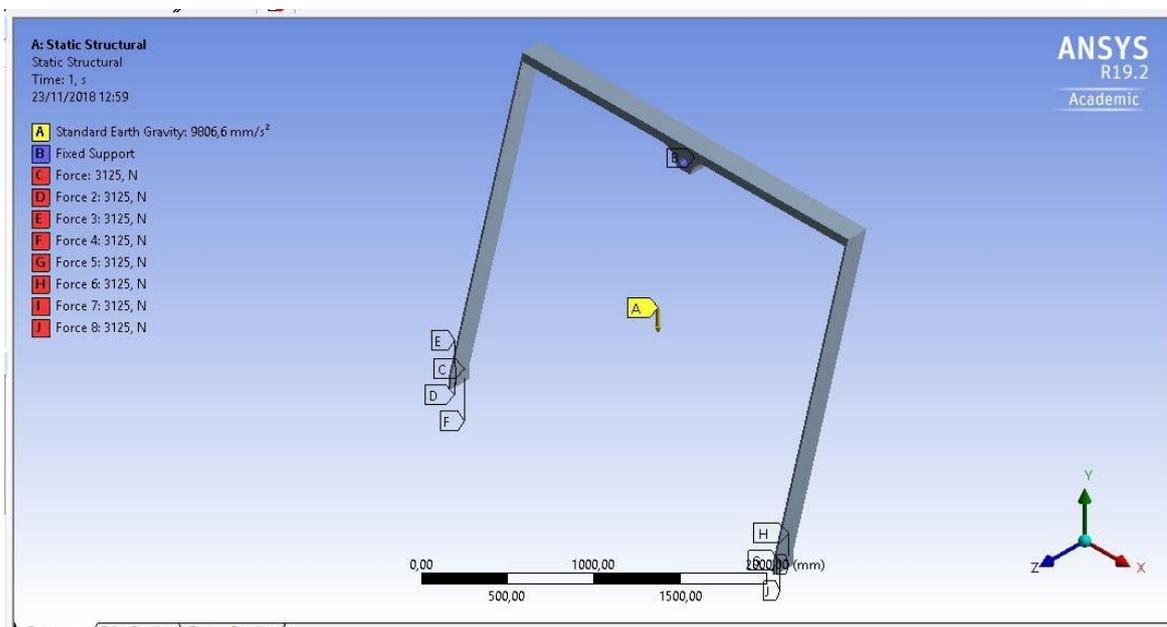


Figura 3.3.3: Parâmetros utilizados na simulação da haste.

Para simulação da barra de sustentação dos módulos, aplicou-se as forças nos pontos de apoio do módulo (25KN), incluiu-se a gravidade e engastou-se a barra nas extremidades, conforme Figura 3.3.4.

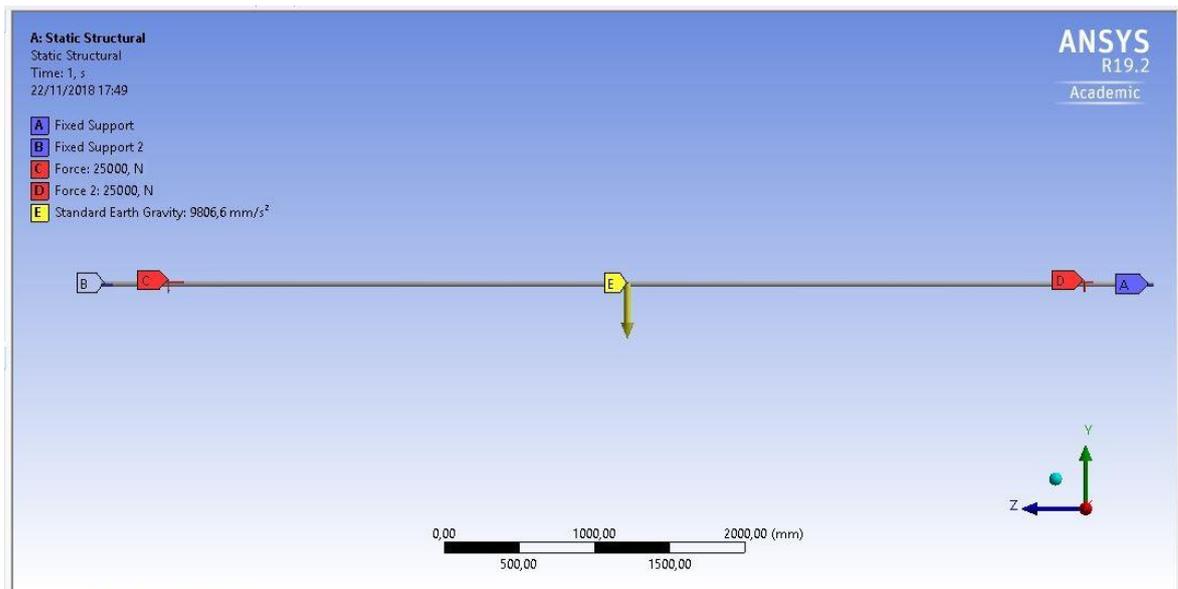


Figura 3.3.4: Parâmetros utilizados na simulação da barra.

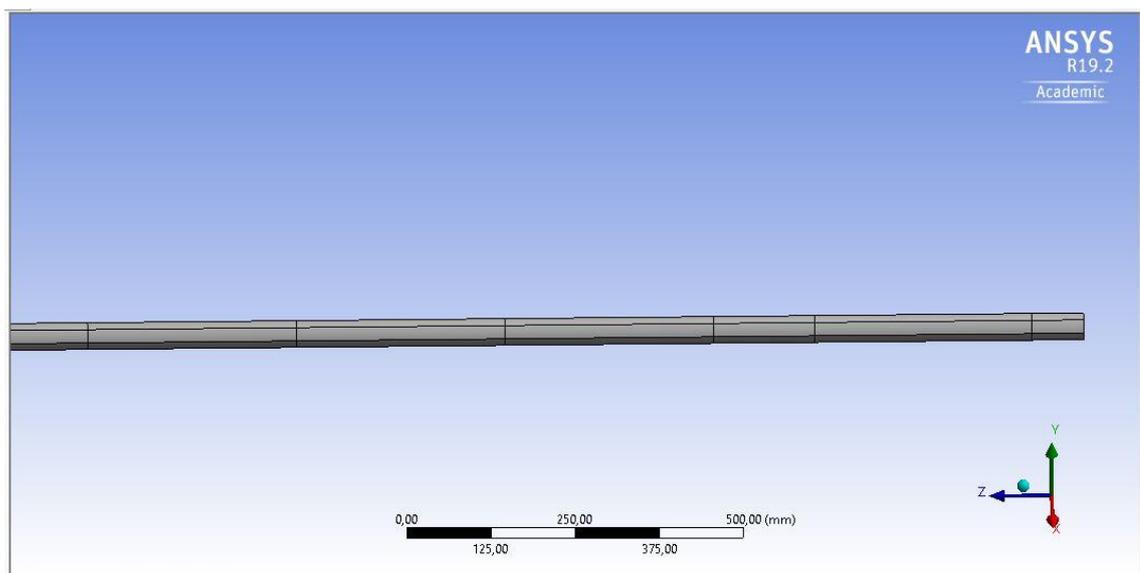


Figura 3.3.5: Zoom na malha utilizada na simulação da barra.

O próximo passo foi simular a corrente e o came, conforme Figuras 3.3.6, 3.3.7, 3.3.8, 3.3.9. Para tal, aplicou-se também uma força de 25KN em ambos, simulando a força de um módulo completo tensionando os mesmos.

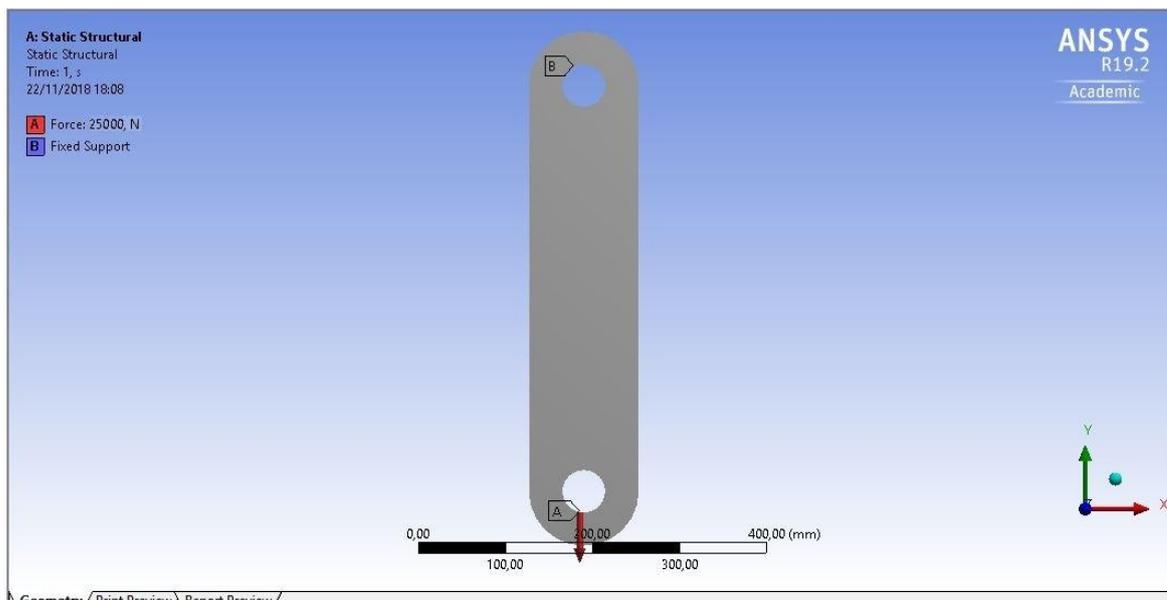


Figura 3.3.6: Parâmetros utilizados na simulação do elo da corrente.

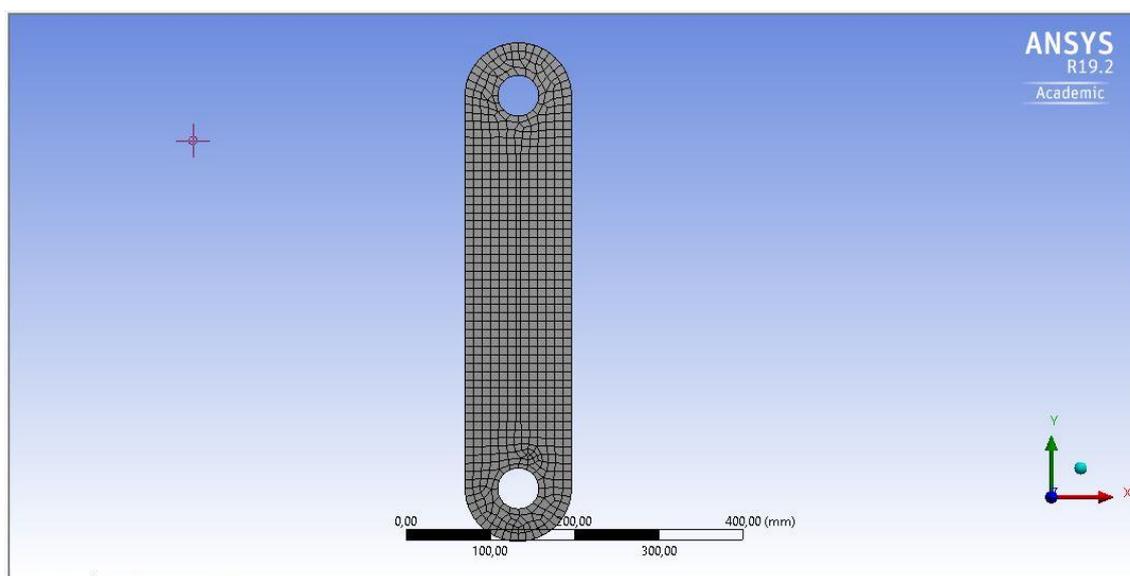


Figura 3.3.7: Zoom na malha utilizada na simulação do elo da corrente.

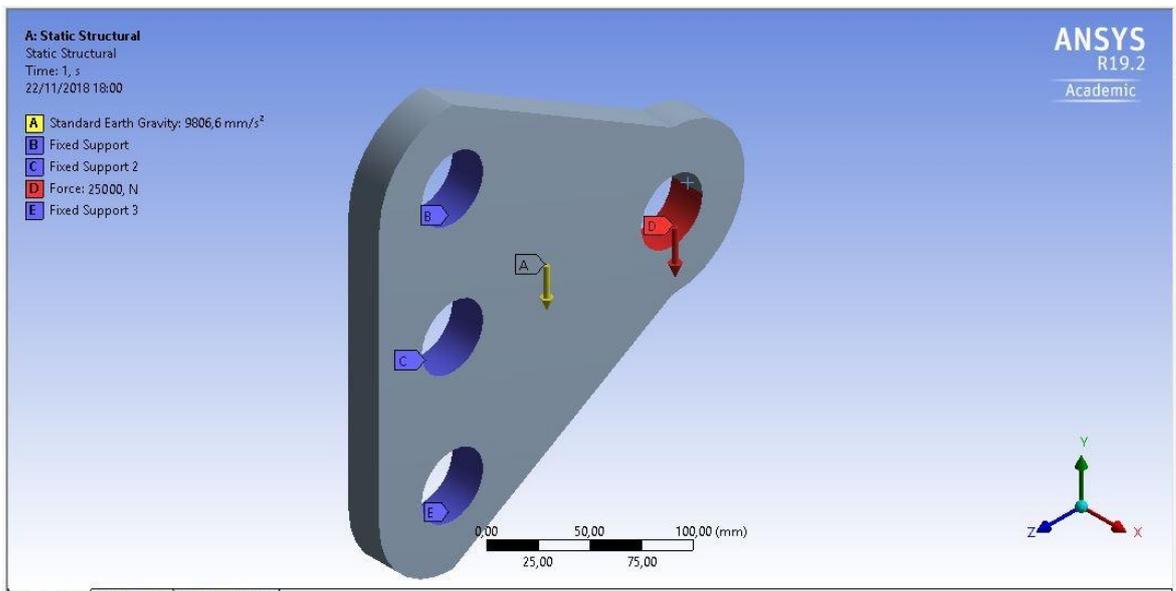


Figura 3.3.8: Parâmetros utilizados na simulação do came.

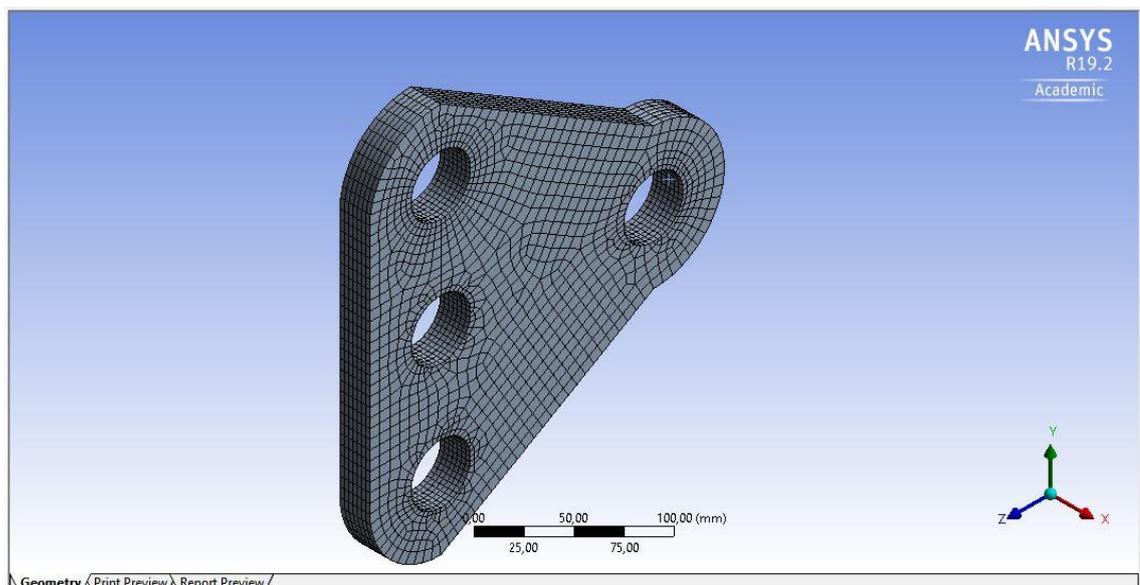


Figura 3.3.9: Zoom na malha utilizada na simulação do came.

A partir daí, simulou-se a coroa, aplicando a força de 172.630KN em seu dente. Além disso, também foi realizada a análise da estrutura proposta analiticamente, palicando as forças da gravidade e da metade do peso total da estrutura, cerca de 200KN, conforme figuras abaixo:

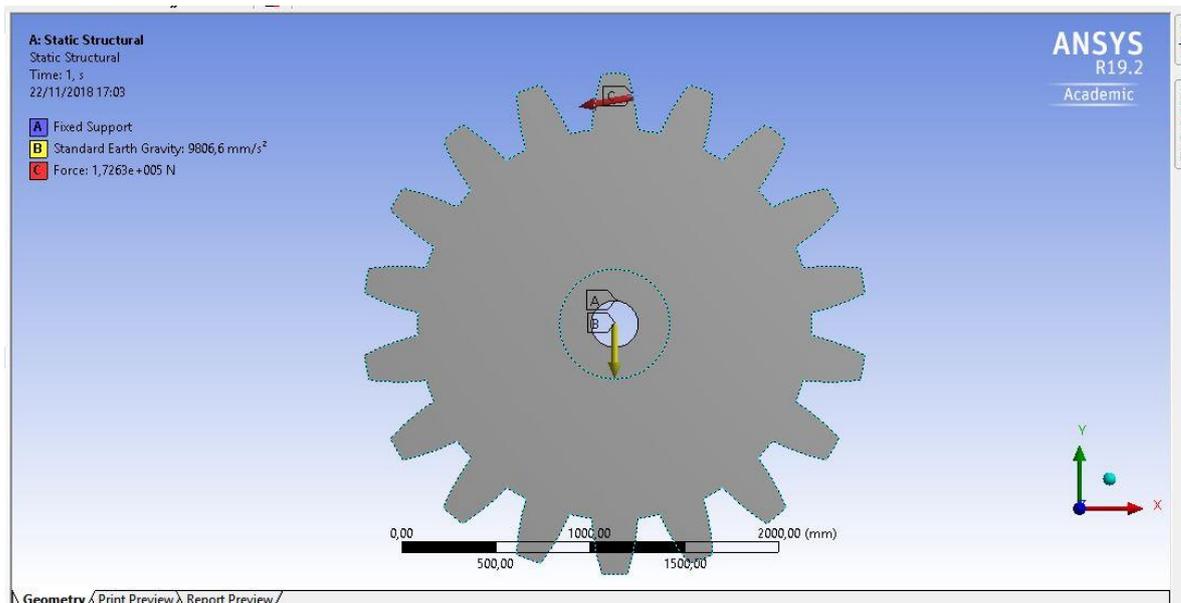


Figura 3.3.10: Parâmetros utilizados na simulação da coroa.

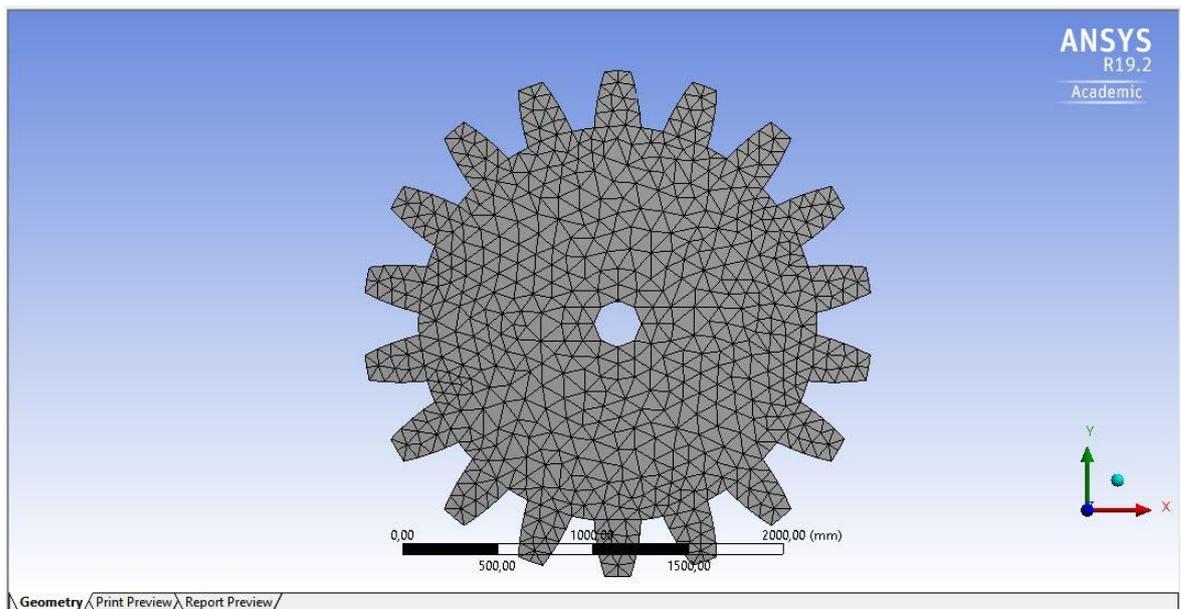


Figura 3.3.11: Zoom na malha utilizada na simulação da coroa.

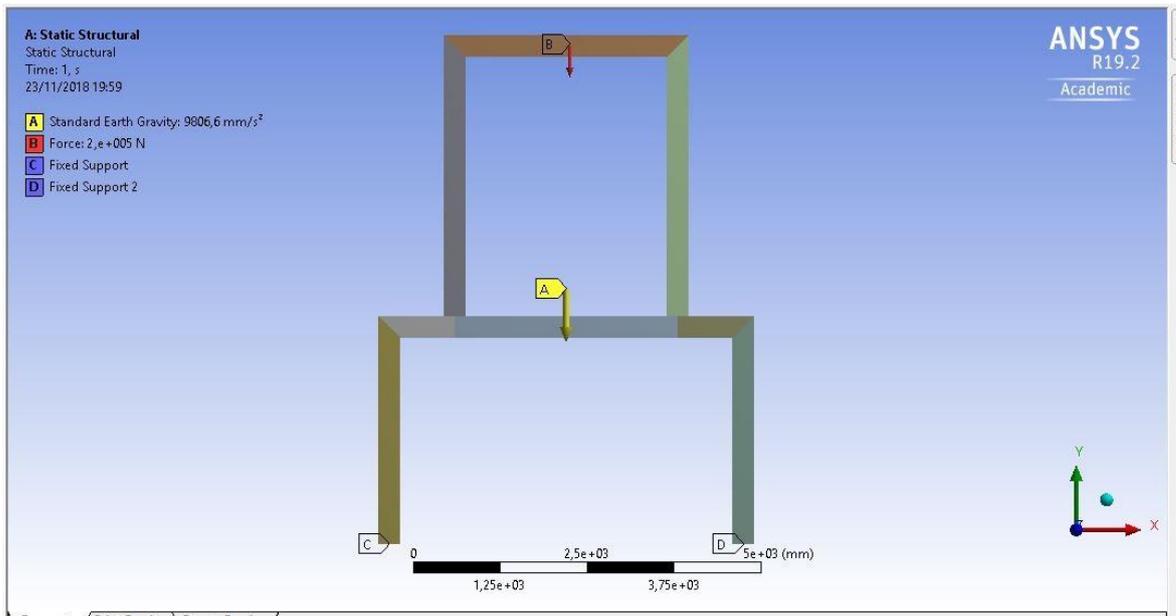


Figura 3.3.12: Parâmetros utilizados na simulação da estrutura.

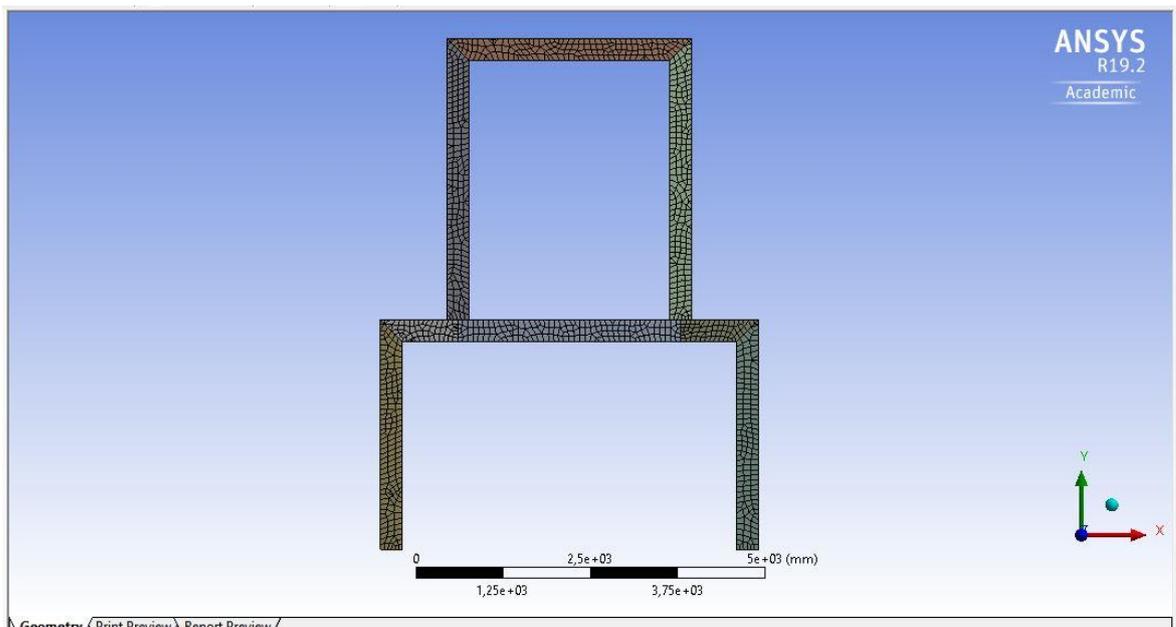


Figura 3.3.13: Zoom na malha utilizada na simulação da estrutura.

3.4- PROTÓTIPO

O protótipo é similar à Figura 3.2.5, dispondo de seis módulos de estacionamento de veículos. É composto por uma estrutura rotativa elevatória, na qual ao início do trâmite de estacionar, a vaga é deslocada ao solo e o direcionamento do automóvel é realizado pelo motorista. Engrenagens conectadas por correntes e um motor possibilitam erguer os carros, logo, todas os

módulos de estacionamento se movimentam ao mesmo tempo, semelhante à uma roda gigante. Para retirar um veículo, basta mover sua respectiva gaiola para a parte inferior da estrutura.

Este tipo de sistema provém inúmeras vantagens, tais como expansão da área de estacionamento, diminuição de gases poluentes na procura por vagas, maior proteção do veículo, dentre outras.

Esta planta física foi montada com intuito de analisar o funcionamento de todas as peças em conjunto, bem como colocar em prática a parte eletrônica e computacional do projeto. Cabe ressaltar que o mesmo não foi reproduzido em escala, devido ao orçamento do projeto. Diante disso, os materiais utilizados são diferentes, de forma a reduzir os custos e também a aproveitar componentes eletrônicos já adquiridos em projetos anteriores.

3.4.1- ESQUELETO FÍSICO DA PLANTA

O esqueleto físico da planta foi construído com ácido poliláctico (PLA) e MDF. Além disso, utilizou-se de barras roscadas, parafusos, arruelas, porcas, rolamentos, dentre outros.

3.4.2- MICROCONTROLADOR ARDUÍNO UNO

O microcontrolador utilizado é o Arduino UNO, uma placa baseada no microcontrolador ATmega328. Esse possui 14 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia e um botão de *reset*.



Figura 3.4.2.1: Arduíno UNO (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2018).

Além disso, pode ser alimentado através da conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa ligada diretamente a rede elétrica.

3.4.3- ATUADOR

Devido à facilidade de implementação, redução de custos e necessidade de elevado grau de posicionamento, determinou-se a utilização de um motor de passo para o acionamento do projeto. Optou-se pelo motor de passo d modelo 28BYJ-48, pelo fato da acessibilidade ao componente eletrônico. Esses têm um circuito integrado destinado especificamente ao seu acionamento, facilitando a conexão ao microcontrolador, o *driver* ULN2003A.



Figura 3.4.3.1: Motor de passo 28BYJ-48 e *driver* (FILIPE FLOP, 2018).

Sendo assim, basta conectar os pinos de alimentação e dos enrolamentos para efetuar o controle de posição do motor. A tabela 3.2.1.4.1 lista algumas características relevantes do modelo 28BYJ-48.

Tabela 3.4.3.1: Parâmetros do motor de passo 28BYJ-48 (MASTER WALKER, 2018).

Modelo 28BYJ-48	
Tensão de trabalho	5V
Corrente de trabalho	3 ^a
Passo	0,088 ^o
Número de passos	4096
Torque	2,2 Kgf.cm

3.4.4- DRIVER DE MOTOR DE PASSO ULN2003A

A maneira mais simples de fazer interface com um motor de passo unipolar com Arduino é a utilização do chip ULN2003A, presente no driver ULN2003. Este CI contém sete transistores Darlington, com intuito de amplificar a corrente fornecida ao motor, suportando até 500 mA por canal. A queda de tensão interna é de cerca de 1V quando ligado.

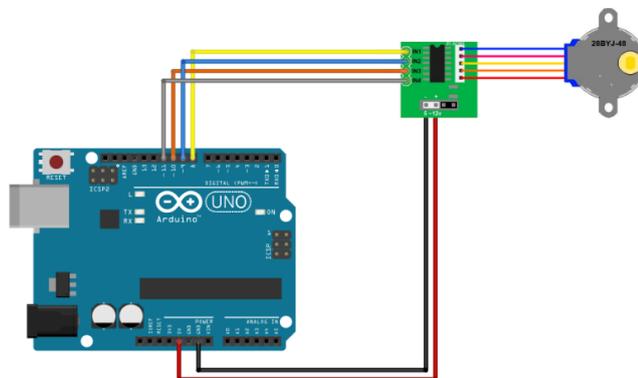


Figura 3.3.4.1: Esquema de ligação do motor de passo, *driver* e Arduino (FILIPPE FLOP, 2018).

3.4.5- SENSOR HRSC-04

O Sensor ultrassônico HC-SR04 é capaz de medir distâncias de 2cm a 4m com ótima precisão. Além do custo reduzido, este módulo já possui um circuito pronto com emissor, receptor e 4 pinos de medição.



Figura 3.4.5.1: Sensor HRSC-04 (FILIPEFLOP, 2016).

Tabela 3.4.5.1: Parâmetros do sensor HRSC-04 (FILIPEFLOP, 2016).

Modelo HRSC-04	
Alimentação	5V DC
Corrente de operação	2mA
Alcance	2cm até 4m
Precisão	3mm

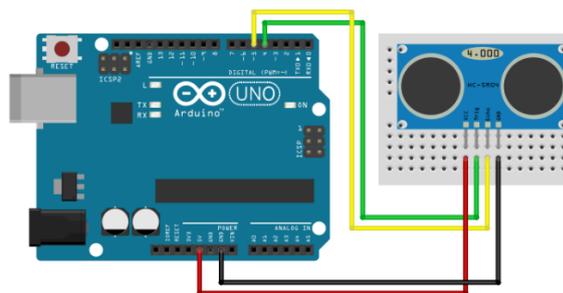


Figura 3.4.5.2: Esquemático de ligação entre o Arduino e o sensor ultrassônico (FILIPE FLOP, 2018).

3.5- A MONTAGEM

Utilizando os materiais descritos acima para compor as diferentes partes deste projeto, nesta seção serão relacionados os estágios adotados para o desenvolvimento do protótipo. Na etapa inicial realizou-se estudos teóricos sobre os métodos a serem aplicados na planta, para que a estruturação sucedesse de forma correta e satisfatória.

As peças foram impressas em impressora 3D, como também cortadas em mdf. Após realizada a montagem, os sensores foram posicionados na plataforma, conectados ao Arduino.

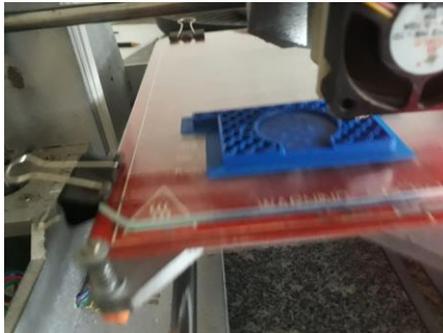


Figura 3.5.1: Impressão 3D das peças para o protótipo.



Figura 3.5.2: Corte a laser do mdf para as peças do protótipo.

O sensor ultrassônico tem a função de orientar quanto ao preenchimento da vaga, bem como durante a entrada e saída de automóveis.

O motor de passo acoplado ao *driver* é responsável por garantir o giro do sistema. Além disso, aplicou-se uma redução de 4:1 no modelo físico, através de duas engrenagens, aumentar o torque de funcionamento do modelo.



Figura 3.5.3: Montagem do protótipo.

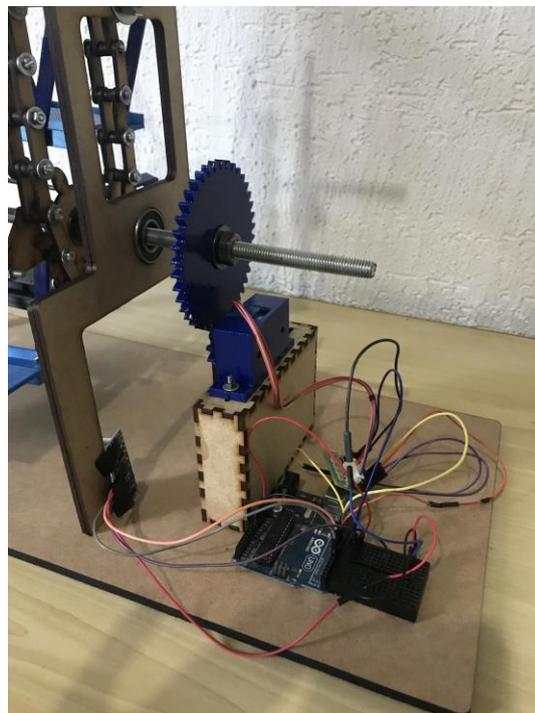


Figura 3.5.4: Acionamentos eletrônicos da planta (sensor e atuador).

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1- ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Iniciou-se através da análise da base, conforme mostram as figuras abaixo:

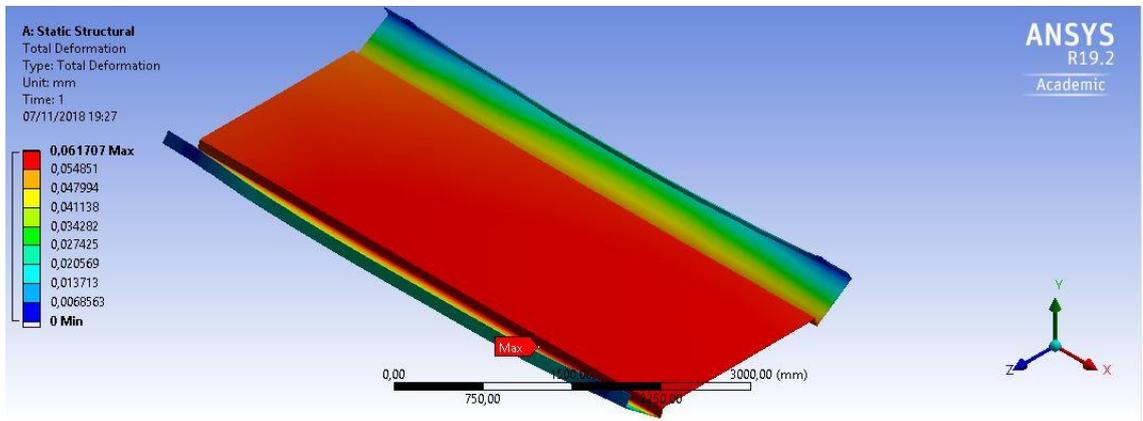


Figura 4.1.3: Resultado da análise de deformações na base.

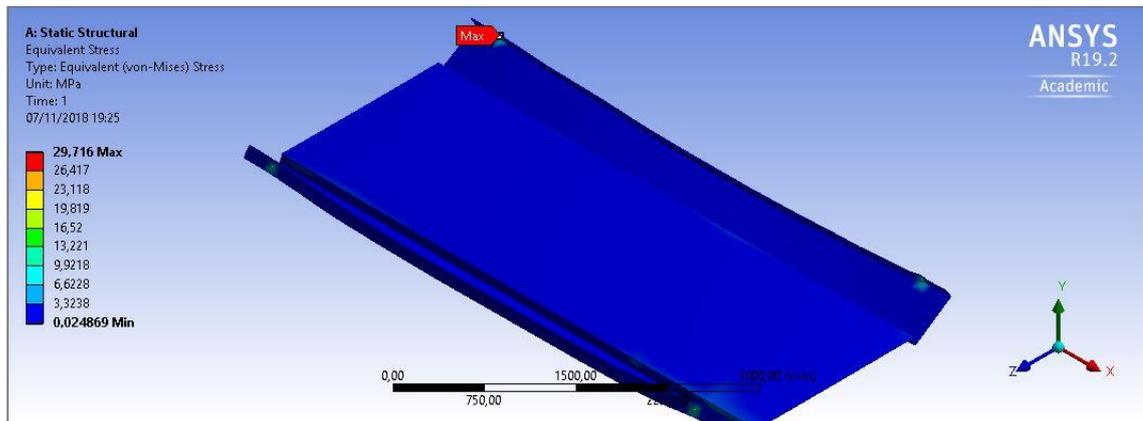


Figura 4.1.4: Resultado da análise de tensões na base.

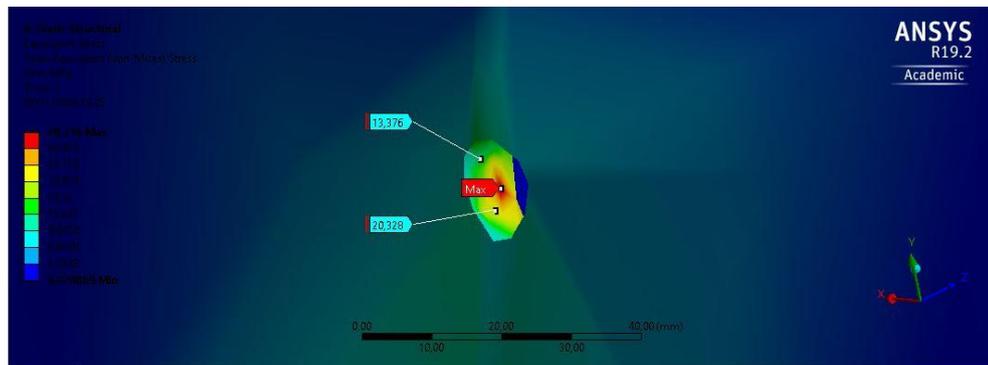


Figura 4.1.5: Resultado da análise de tensões na base.

Através das simulações, percebe-se que a deformação foi muito pequena, resultando em aproximadamente 0,062mm. Na análise de tensões, o valor máximo encontrado foi de 29,716MPa, dentro dos limites de tensões admissíveis do projeto, 138MPa para o aço ASTM A572 G50.

Em se tratando da haste, foram realizadas duas simulações, nas quais a primeira não atingiu o limite necessário de tensão do material (aço 1020), conforme Figura 4.1.6.

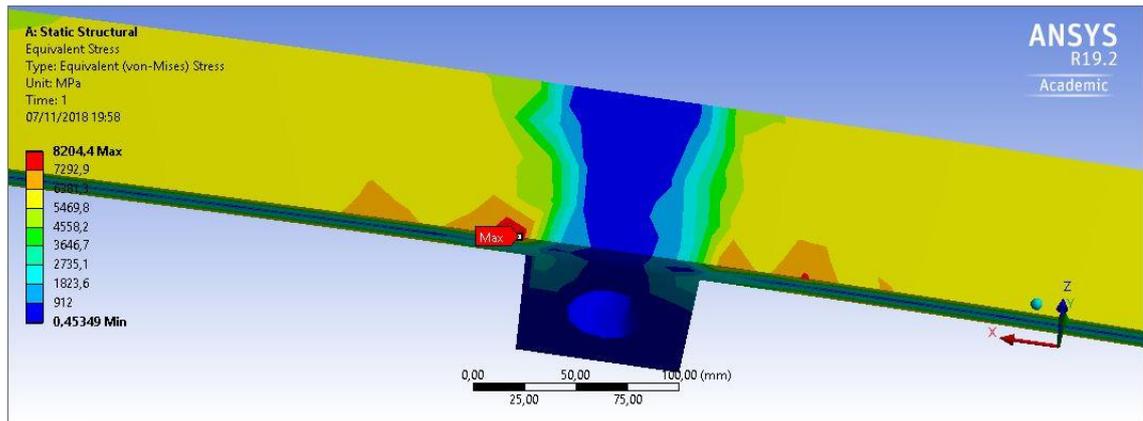


Figura 4.1.6: Análise de tensões na haste.

Como pode-se perceber, o limite de 140MPa foi excedido em mais de 54 vezes. Desta maneira, estipulou-se nova altura com o auxílio do software, com espessura $h = 50mm$, resultando em uma tensão dentro dos parâmetros aceitáveis de projeto, conforme Figura 4.1.7. Nesta simulação, aplicaram-se os mesmos parâmetros da análise anterior.

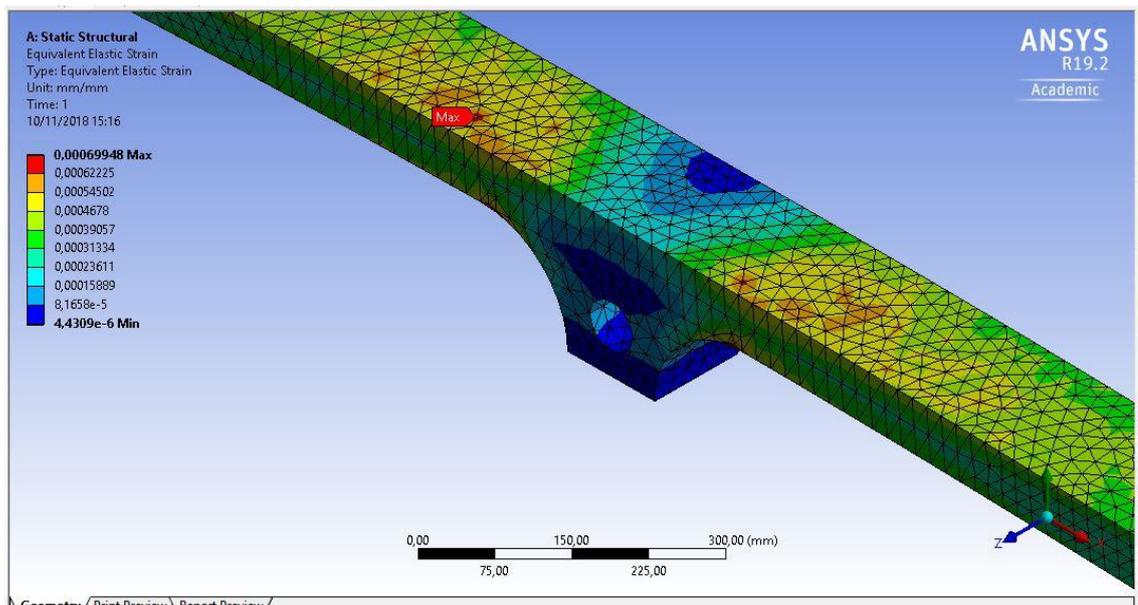


Figura 4.1.7: Análise de deformação da haste.

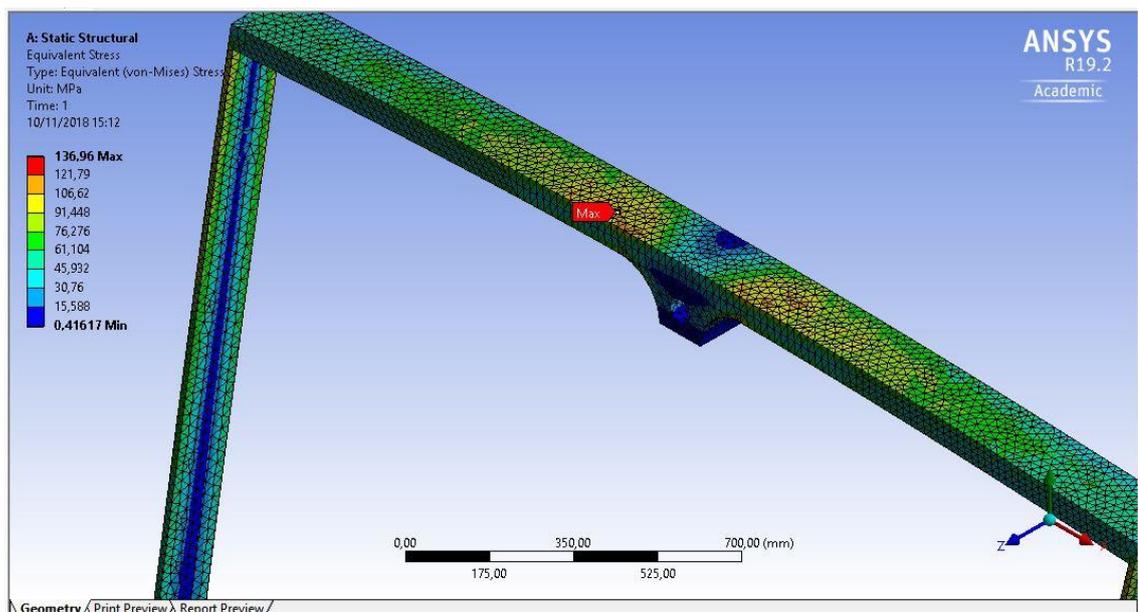


Figura 4.1.8: Análise de tensão na Haste.

Através das simulações, percebe-se que o percentual de deformação é mínimo, resultando em aproximadamente 0,0007% do comprimento total da haste. Na análise de tensões, o valor máximo encontrado foi de 136,96MPa, dentro dos limites de tensões admissíveis do material utilizado nesta peça, 140MPa para aço 1020.

Através da simulação da barra do módulo, os seguintes resultados foram obtidos:

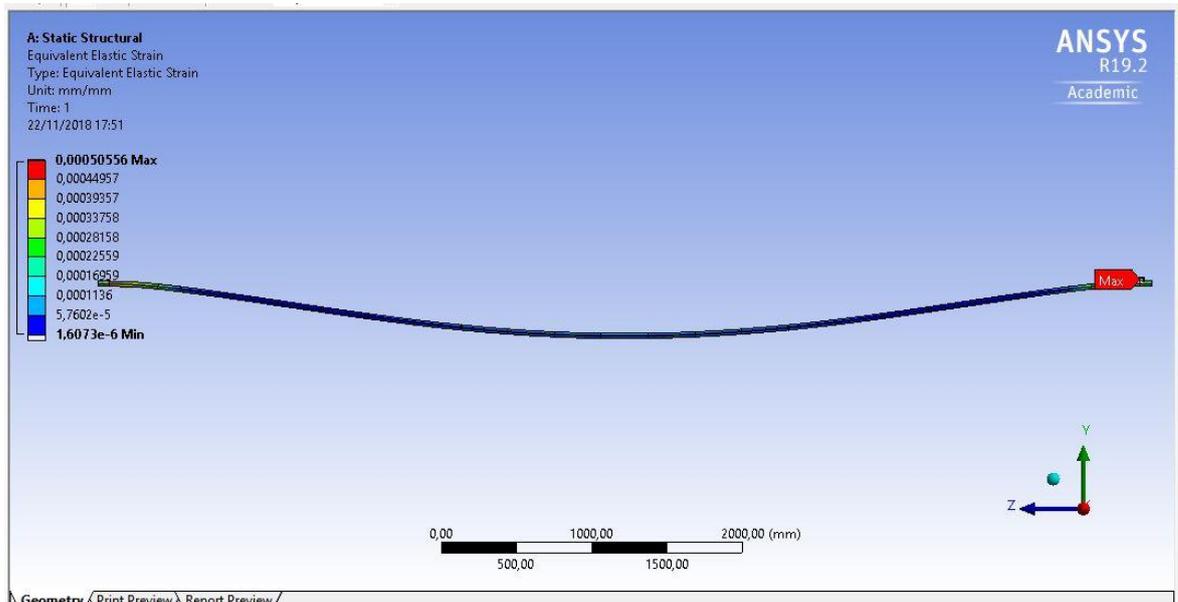


Figura 4.1.9: Análise de deformação da barra.

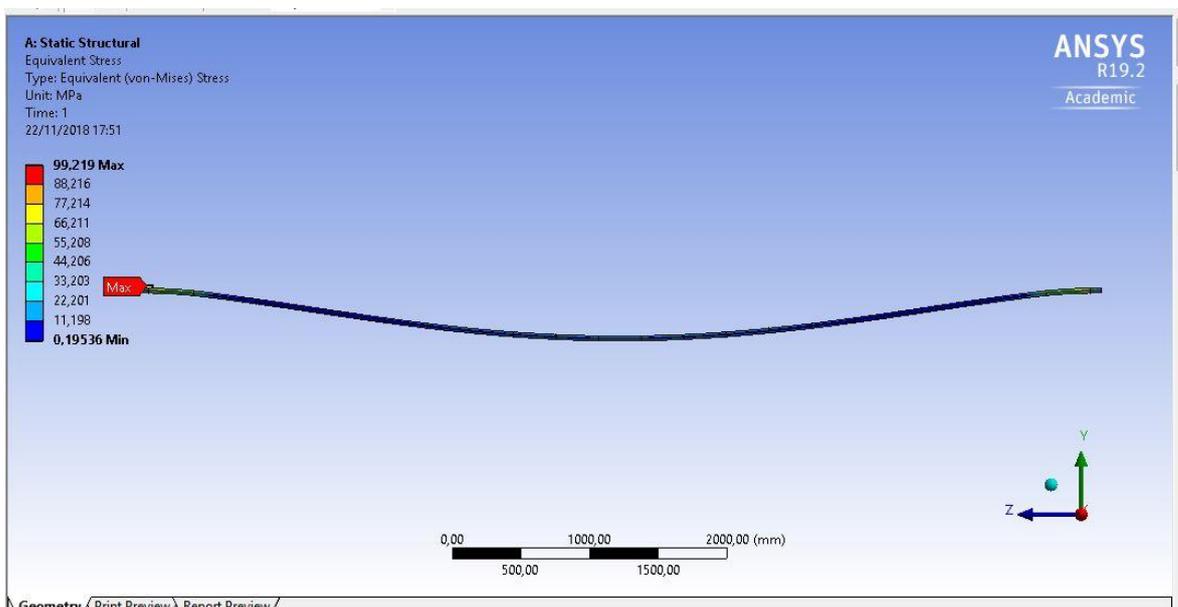


Figura 4.1.10: Análise de tensão da barra.

Através das Figuras 4.1.9 e 4.1.10 percebe-se que os resultados foram satisfatórios. A tensão não excedeu o limite do material (aço 1020), com valor abaixo de 100MPa e a deformação atingiu valores percentuais irrisórios (0,0005%), visto o tamanho da barra.

As próximas simulações executadas foram nos elos da corrente e do came, respectivamente, conforme imagens abaixo:

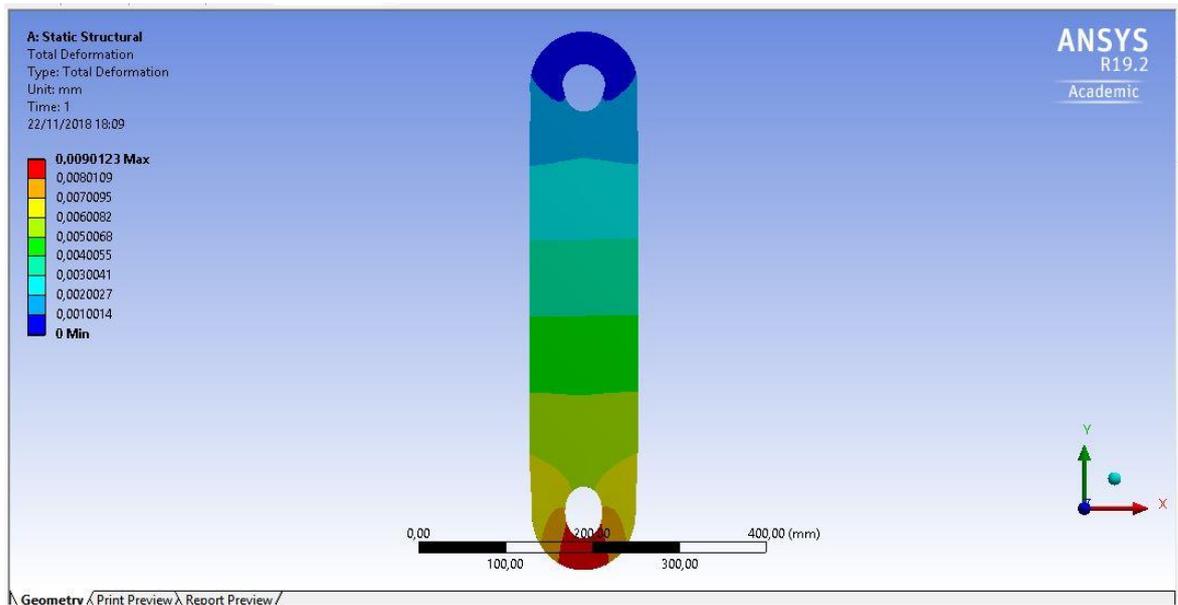


Figura 4.1.11: Análise de alongamento no elo da corrente.

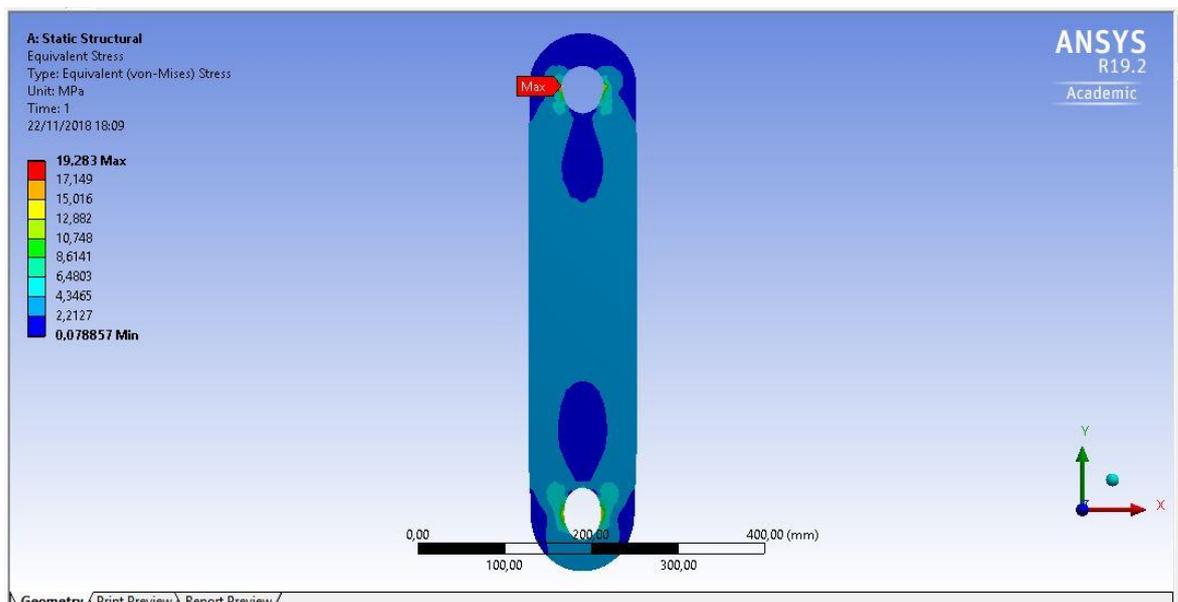


Figura 4.1.12: Análise de tensão no elo da corrente.

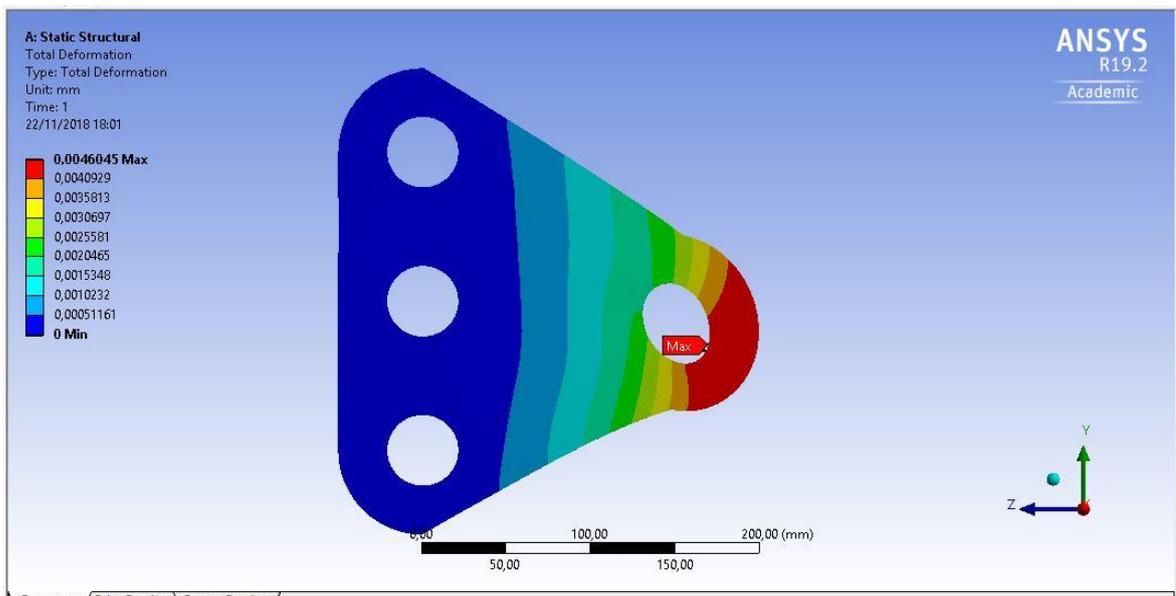


Figura 4.1.13: Análise de deformação no came.

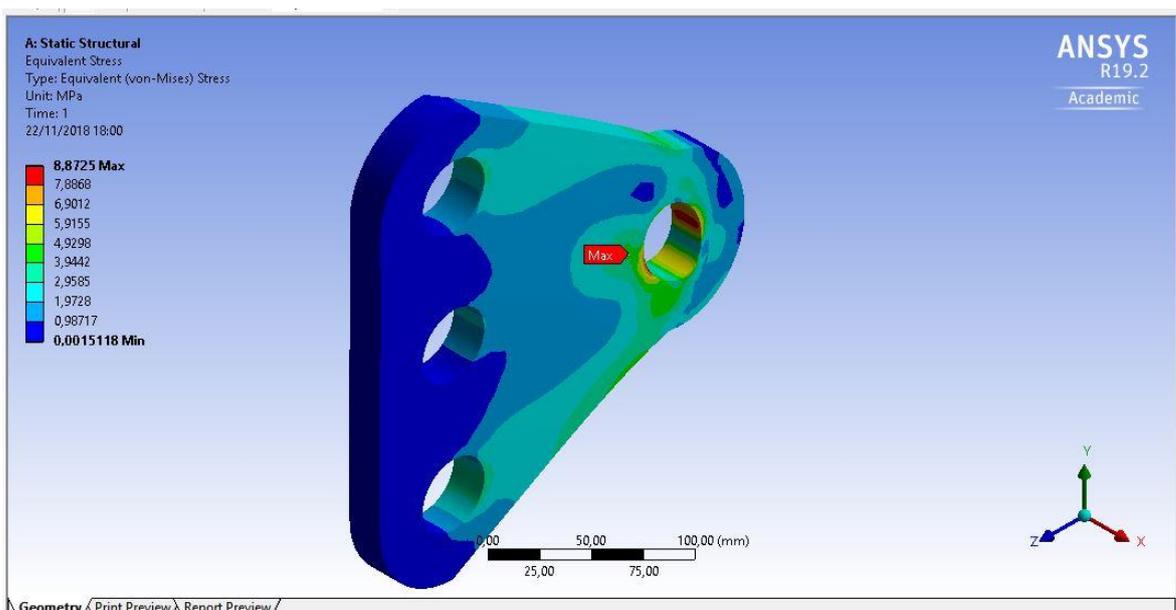


Figura 4.1.14: Análise de tensão no came.

Em se tratando do elo, a simulação demonstrou que houve uma deformação equivalente a 0,009mm. Além disso, sofreu uma tensão máxima de 19,283MPa, demonstrando que ambos os resultados encontram-se dentro da margem de segurança de tolerância do material (aço 1045).

Já no came, os resultados foram ainda mais satisfatórios. A tensão obteve um valor de 8,87MPa enquanto a deformação atingiu de cerca de quatro milésimos de milímetros.

A simulação da coroa apresentou os resultados conforme Figuras 4.1.15 e 4.1.16.

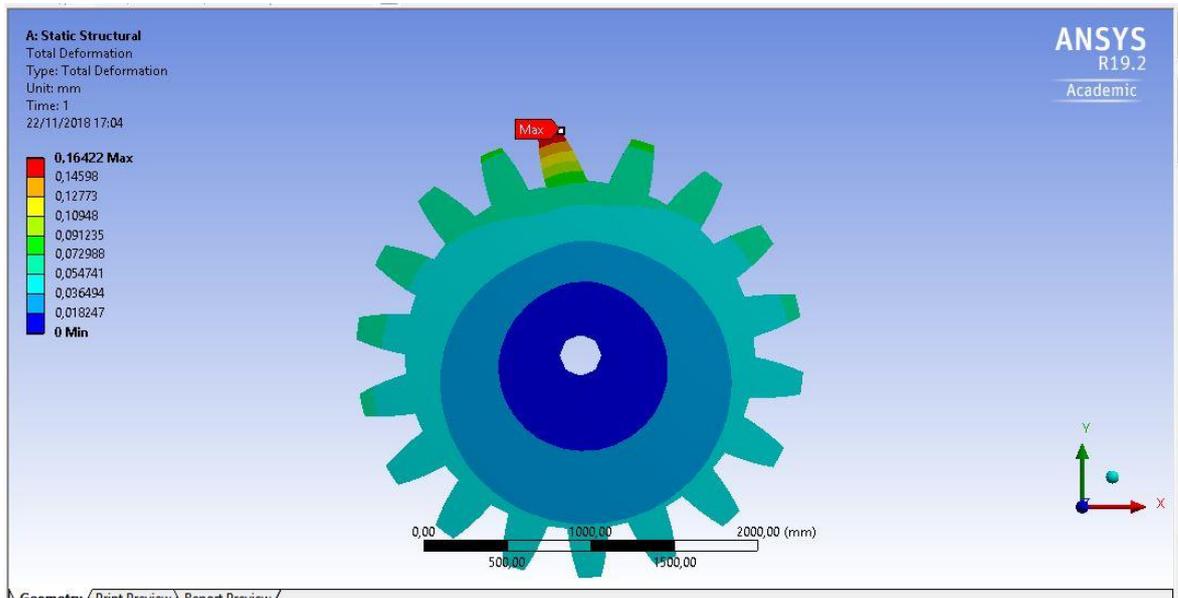


Figura 4.1.15: Análise de deformação da coroa.

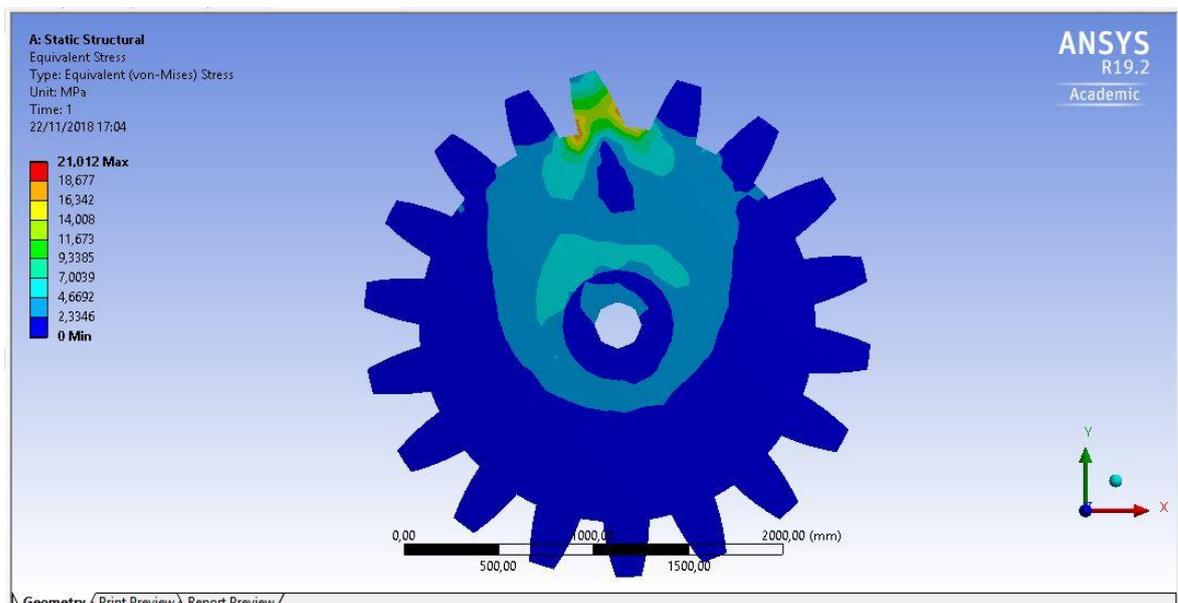


Figura 4.1.16: Análise de tensão da coroa.

A tensão máxima comportou dentro dos limites aceitáveis para o aço 1045, cerca de 21MPa. A deformação da coroa foi de aproximadamente 0,16mm, valor relativamente pequeno para o tamanho total da peça.

A última simulação se tratou da estrutura externa, projetada com perfil W de aço ASTM A572 G50, que possui limite de tensão de 138MPa.

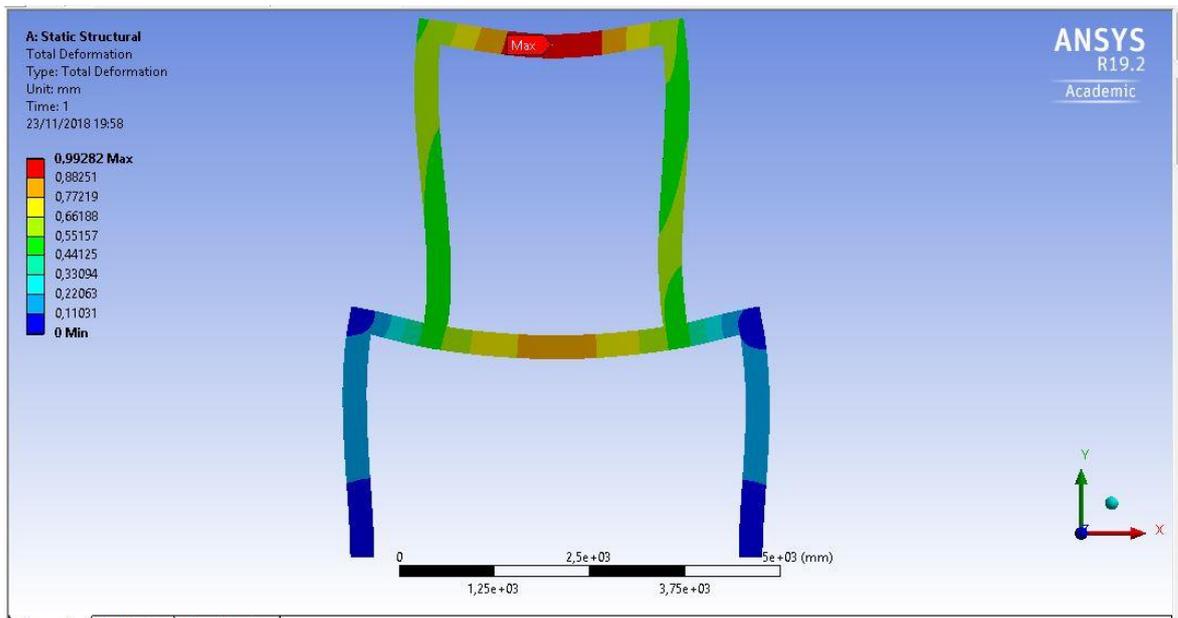


Figura 4.1.17: Análise de deformação da estrutura.

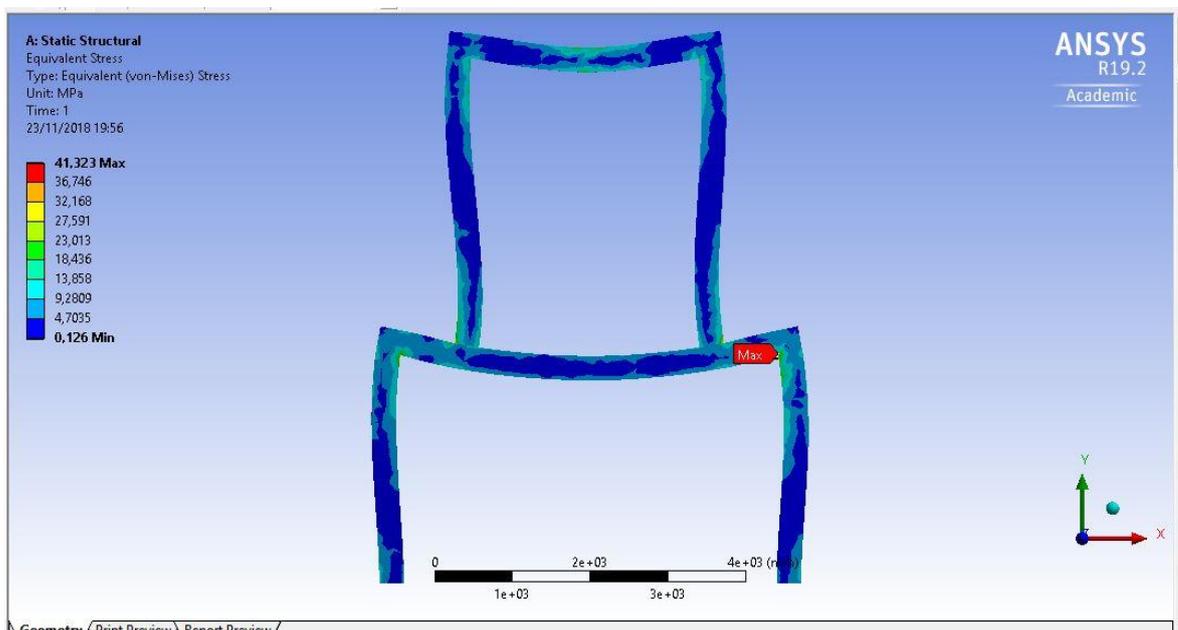


Figura 4.1.18: Análise de tensão da estrutura.

Através dessas simulações, percebe-se que a deformação também é muito pequena em relação ao tamanho total da estrutura, cerca de 0,99mm. Na análise de tensões, o valor máximo encontrado foi de 41,32MPa, dentro dos limites de

tensões admissíveis do material utilizado nesta peça, 138MPa para aço ASTM A572 G50.

4.2- O PROTÓTIPO

Em se tratando do protótipo, o primeiro passo foi a realização da montagem. Esta ocorreu de forma satisfatória, onde todas as peças projetadas, bem como os componentes eletrônicos afixaram-se precisamente.

O segundo passo foi colocar a parte eletrônica em funcionamento. Apesar da estrutura funcionar de forma adequada, percebeu-se que o atuador possui torque relativamente inferior ao necessário para a aplicação.

Por último aplicou-se no código um método para tentar reduzir ao máximo a resultante do torque, de modo a diminuir os esforços do atuador. Este ocorreu de forma satisfatória, na qual o sensor ultrassom identificava as gaiolas ocupadas e, conseqüentemente, o programa indicava qual a melhor posição para estabilizar o sistema.

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho foi possível projetar uma plataforma modular elevatória para estacionamento de veículos. Os objetivos gerais e específicos foram cumpridos conforme proposto, enquanto a revisão de literatura permitiu adquirir conhecimento necessário para todo o desenvolvimento do trabalho. Ademais, percebeu-se o quanto a análise de elementos finitos é importante. Através desta, foi possível verificar os cálculos analíticos por meio de simulações computacionais, tornando-se fundamental para o dimensionamento de algumas partes do projeto.

Todas as peças ensaiadas demonstraram desempenho convincente, conforme o esperado. Tanto a montagem completa da estrutura quanto a análise de elementos finitos permitiram afirmar que a proposta adequou-se as normas impostas. Portanto, percebeu-se que este projeto pode ser executado em escala real, contribuindo para ampliar o número de vagas de estacionamento, além de reduzir o congestionamento nas áreas centrais das grandes cidades.

Em se tratando de trabalhos futuros, existe a oportunidade de dimensionar todo sistema de acionamento do motor em relação à estrutura mecânica. Além disso, sugere-se também projetar a interface com o usuário em escala real.

Para mais, também é possível acrescentar estudos relacionados à tipos de soldas, pinturas anticorrosão e lubrificação dos componentes.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPARK. **Mercado de estacionamentos inteligentes crescerá 31% até 2019.** Disponível em: <<http://abrapark.com.br/site/estacionamento-inteligente/>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

ALIBABA. **Mini smart auto sistema de estacionamento rotativo.** Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/p-detail/mini-smart-auto-sistema-de-estacionamento-rotativo-900002803291.html>>. Acesso em 03 de abril de 2016.

ALIEXPRESS. **Mancal de rolamento.** Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/1pc-J366-Upright-Bearing-Pedestal-Cast-Iron-Bearing-Block-Vertical-Type-Multi-Size-Ball-Bearing-Steels/32777666506.html>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

ATMEL. **Atmel Avr 8-bit and 32-bit.** Disponível em: <<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

BARROS, Mariana. **Frota brasileira cresce onze vezes mais rápido do que a população e já é suficiente para cobrir Barbados, no Caribe.** Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/blog/cidades-sem-fronteiras/transporte-e-transito/frota/>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

BAÚ DA ELETRÔNICA. **Arduíno UNO.** Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russell. **Resistência dos Materiais.** 3. ed. São Paulo: Pearson Education, 2008.

BOLTON, William. **Mecatrônica: Uma abordagem multidisciplinar.** 4. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2010.

CASA E CONSTRUÇÃO. **Parafuso sextavado.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjZiKvH9tveAhUEfZAKHVAEBLoQjxx6BAgBEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.cec.com.br%2Fferragens%2Fpregos-parafusos-e-buchas%2Fparafuso%2Fparafuso-sextavado-com-porca-e-arruela-3%2F8-x2%3Fproduto%3D1232816&psig=AOvVaw0fotsOd1iQMF9OEKub0SFs&ust=1542561236091394>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

CIÊNCIA HOJE. **Quem ganhou o Nobel de Física de 2014?**. Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2933/n/quem_ganhou_o_nobel_de_fisica_de_2014/Post_page/53>. Acesso em 02 de junho de 2016.

ELEVATOR HISTORY. **Paternoster History – Invention od Paternoster Lift.** Disponível em: <<http://www.elevatorhistory.net/elevator-history/history-of-paternoster/>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

EMG AUTOMATION. **State-of-the-art design — FEM provides the user with added security.** Disponível em: <<http://www.emg-automation.com/en/emg-newsletter-june-2013/>>. Acesso em 02 de junho de 2016.

FILIPE FLOP. **Controlando um motor de passo com Arduíno.** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/controlando-um-motor-de-passo-5v-com-arduino/>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

FILIFELOP. **Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04.** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/#tab-description>>. Acesso em 31 de maio de 2016.

G1. **Edifício-garagem robotizado começa a operar em Florianópolis.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/11/edificio-garagem-robotizado-comeca-operar-em-florianopolis.html>>. Acesso em 25 de maio de 2016.

GELSON LUZ. **Aço 1020.** Disponível em:
<<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

GELSON LUZ. **Aço 1045.** Disponível em:
<<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

GERDAU. **Tabela de bitolas.** Disponível em:
<<https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/perfil-estrutural-tabela-de-bitolas.pdf>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

GROOVER, Mikell. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura.** 3. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2011.

HISTORY. **Ford motor company unveils the Model T.** Disponível em:
<<http://www.history.com/this-day-in-history/ford-motor-company-unveils-the-model-t>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

ICARROS. **Autostadt é diversão garantida na Alemanha.** Disponível em:
<<http://www.icarros.com.br/noticias/geral/autostadt-e-diversao-garantida-na-alemanha/15212.html>>. Acesso em 20 de abril de 2016.

LABORATÓRIO DE GARAGEM. **Tutorial Motor de Passo – Parte 1: Introdução, Tipos, Modos de Acionamento.** Disponível em:
<<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-sobre-motor-de-passo>>. Acesso em 30 de maio de 2016.

LUIS LLAMAS. **MEDIR DISTANCIA CON ARDUINO Y SENSOR DE ULTRASONIDOS HC-SR04.** Disponível em:
<<http://www.luisllamas.es/2015/06/medir-distancia-con-arduino-y-sensor-de-ultrasonidos-hc-sr04/>>. Acesso em 06 de junho de 2016.

MASTER WALKER. **Como usar com Arduino – Motor de Passo 28BYJ-48 com Driver ULN2003.** Disponível em: <<http://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/arduino-utilizando-motor-de-passo-28byj-48-e-driver-uln2003/>>. Acesso em 25 de agosto de 2018.

MATWEB. **ASTM A572 G50 Steel.** Disponível em: <<http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9ced5dc901c54bd1aef19403d0385d7f>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

MINIDOODLE. **CHAIN PITCH #35 & #41.** Disponível em: <<http://jleibovitch.tripod.com/id240.htm>>. Acesso em 01 de junho de 2016.

MYRONS MOPEDS. **Chains.** Disponível em: <<http://www.myronsmopeds.com/category/sprockets-chains-shocks/chains/>>. Acesso em 01 de junho de 2016.

NORD. **Motorreductores.** Disponível em: <https://www.nord.com/cms/pt/product_catalogue/geared_motors/geared-motors.jsp?gclid=EAlalQobChMIuZ2r6_Lb3glVCQ6RCh3WVQpOEAAAYAiAAEgJDAfD_BwE>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

NSK. **Rolamentos.** Disponível em: <[http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

OTIS. **Elisha cutting rope.** Disponível em: <http://www.otis.com/site/pt/OT_DL_CommonImages/De1_Elisha%20cutting%20rope.jpg>. Acesso em 11 de abril de 2016.

PARK D.Y., DongYang PC, INC. **MESSAGE FROM CEO.** Disponível em: <http://www.dysmart.com/eng/html/into_01.html>. Acesso em 15 de junho de 2016.

PUC RIO. **Esforços internos**. Disponível em: <http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/civ1112-aula04.pdf>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

RADAR NACIONAL. **Saiba quais são os 10 estados brasileiros com a maior frota de veículos. Veja também a tabela por Estado**. Disponível em: <<http://www.radarnacional.com.br/saiba-quais-sao-os-10-estados-brasileiros-com-a-maior-frota-de-veiculos-veja-tambem-a-tabela-por-estado/>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

REIS, Thiago. **Com aumento da frota, país tem 1 automóvel para cada 4 habitantes**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2014/03/com-aumento-da-frota-pais-tem-1-automovel-para-cada-4-habitantes.html>>. Acesso em 06 de abril de 2016.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de Mecatrônica**. 4. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2005.

SCHUMM, Laura. **Who invented the elevator?**. Disponível em: <<http://www.history.com/news/ask-history/who-invented-the-elevator>>. Acesso em 07 de abril de 2016.

SILVEIRA, Paulo. SANTOS, Winderson. **Automação e Controle Discreto**. 9. ed. São Paulo: Editora Érica, 2010.

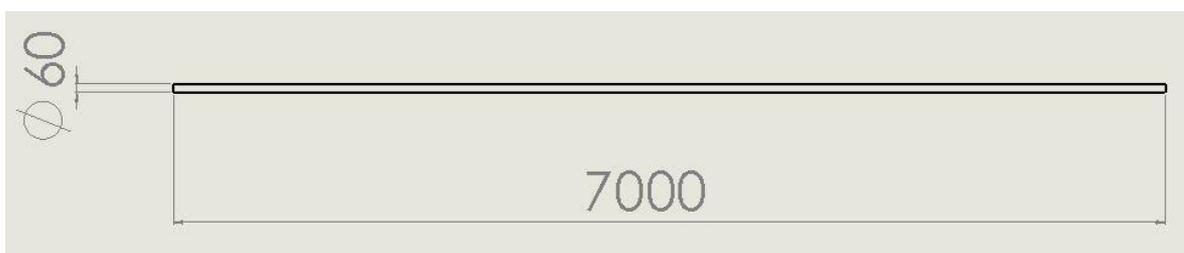
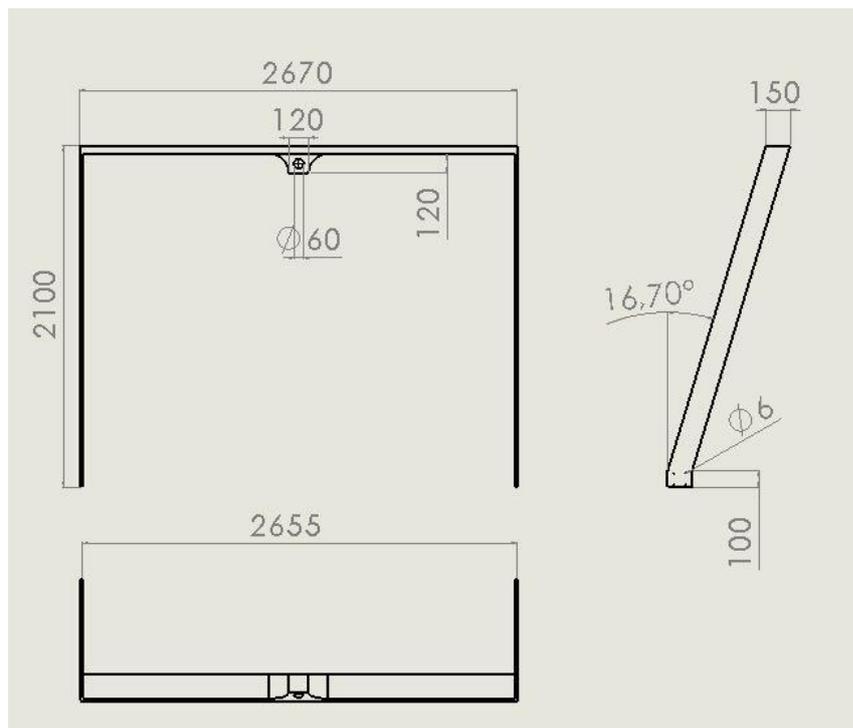
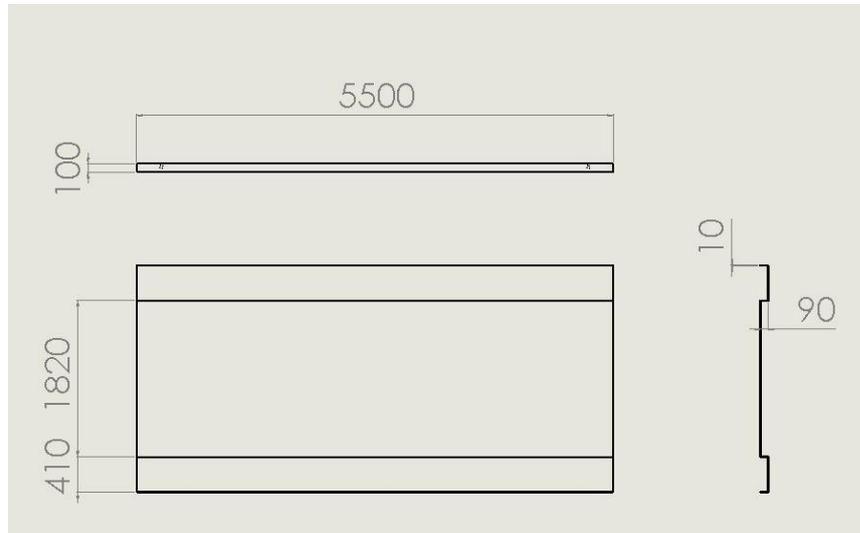
THE ELEVATOR MUSEUM. **Paternoster elevator**. Disponível em: <http://www.theelevatormuseum.org/f/f_1.htm>. Acesso em 11 de abril de 2016.

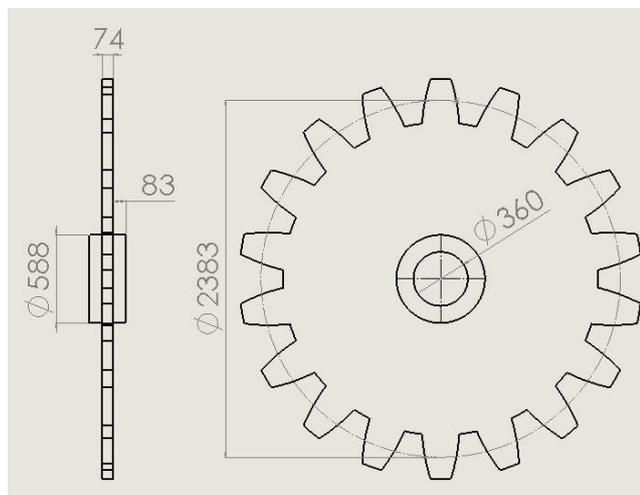
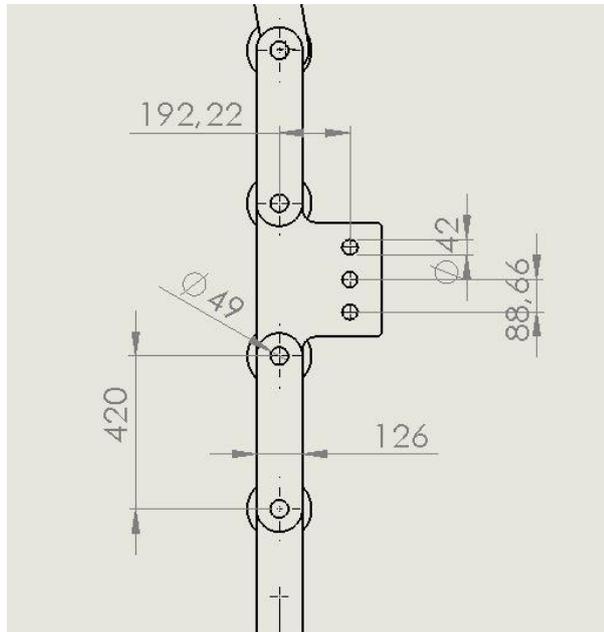
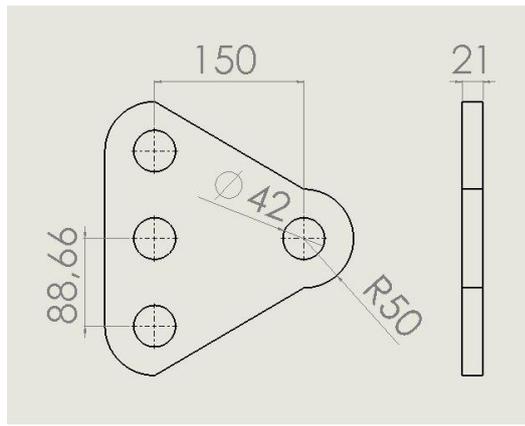
UPTON, Emily. **Who invented the elevator?**. Disponível em: <<http://www.todayifoundout.com/index.php/2014/05/history-elevator/>>. Acesso em 07 de abril de 2016.

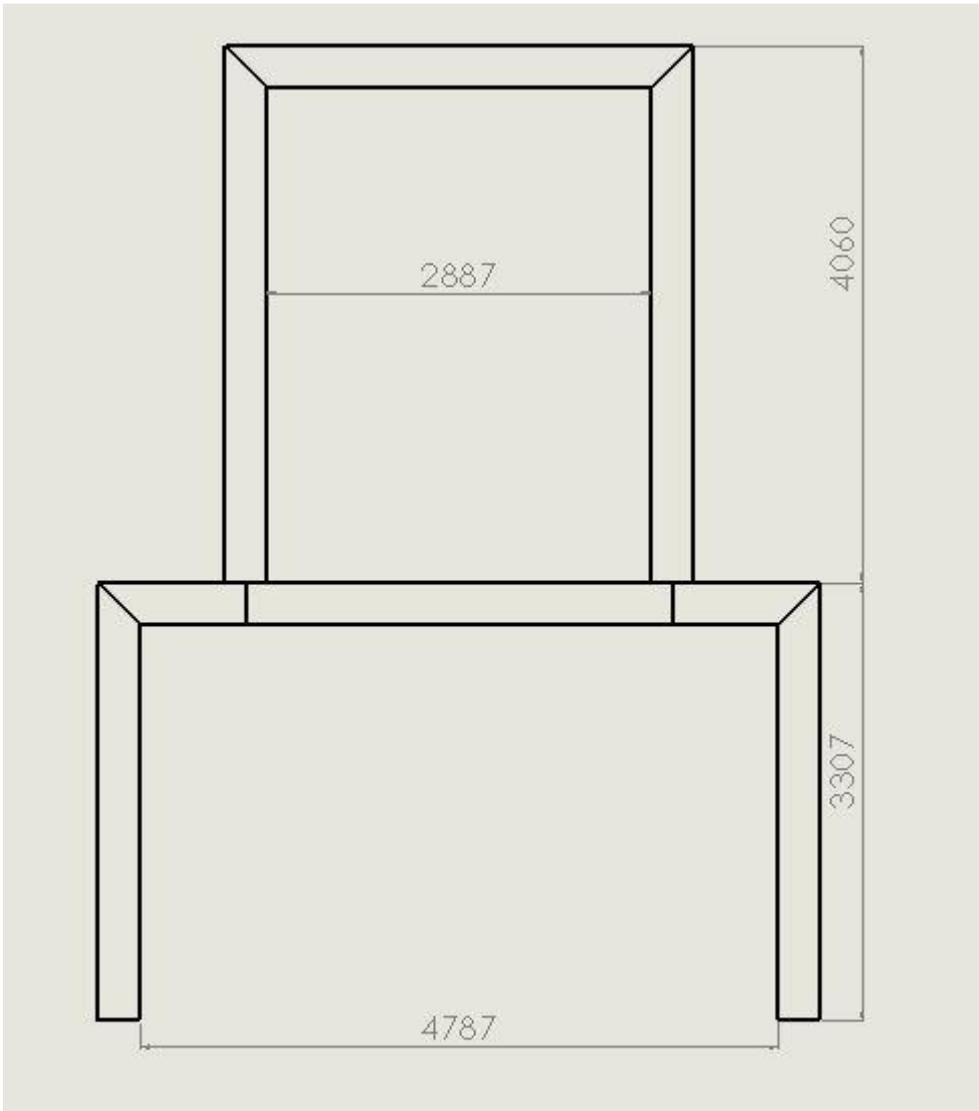
ZANCO, Wagner da Silva. **Microcontroladores PIC: Técnicas de software e hardware para projetos de circuitos eletrônicos**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2008.

APENDICE A

Desenhos técnicos das peças:







APÊNDICE B

Código utilizado na programação do trabalho.

```
#include <Ultrasonic.h>
#include <Stepper.h>
#define pino_trigger 4
#define pino_echo 5

Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);

const int stepsPerRevolution = 4096;

//Inicializa a biblioteca utilizando as portas de 8 a 11 para
//ligacao ao motor
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8,10,9,11);

void setup()
{
  //Determina a velocidade inicial do motor
  myStepper.setSpeed(100000);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Lendo dados do sensor...");
}

void loop()
{
  if (Serial.available()>0) //Checks for a character in the serial monitor
  {
    int x = Serial.parseInt();
    Serial.println(x);
    //Gira o motor no sentido horario a 90 graus
    if (x == 10)
    {for (int i = 0; i<=170; i++)
    {
      myStepper.step(682);
      //myStepper.step(682);
      delay(15);
    }}

    if (x == 20)
```

```
{for (int i = 0; i<=340; i++)  
{  
myStepper.step(682);  
//myStepper.step(682);  
delay(15);  
}}
```

```
if (x == 30)  
{for (int i = 0; i<=510; i++)  
{  
myStepper.step(682);  
//myStepper.step(682);  
delay(15);  
}}
```

```
if (x == 40)  
{for (int i = 0; i<=680; i++)  
{  
myStepper.step(682);  
//myStepper.step(682);  
delay(15);  
}}
```

```
if (x == 50)  
{for (int i = 0; i<=850; i++)  
{  
myStepper.step(682);  
//myStepper.step(682);  
delay(15);  
}}
```

```
if (x == 60)  
{for (int i = 0; i<=1020; i++)  
{  
myStepper.step(682);  
//myStepper.step(682);  
delay(15);  
}}
```

```
if (x == 15)  
{for (int i = 0; i<=85; i++)  
{
```

```

myStepper.step(682);
//myStepper.step(682);
delay(15);
}}

if (x == 25)
{for (int i = 0; i<=255; i++)
{
myStepper.step(682);
//myStepper.step(682);
delay(15);
}}

if (x == 35)
{for (int i = 0; i<=425; i++)
{
myStepper.step(682);
//myStepper.step(682);
delay(15);
}}

if (x == 45)
{for (int i = 0; i<=765; i++)
{
myStepper.step(682);
//myStepper.step(682);
delay(15);
}}

if (x == 55)
{for (int i = 0; i<=935; i++)
{
myStepper.step(682);
//myStepper.step(682);
delay(15);
}}

int VAGA1=0, VAGA2=0, VAGA3=0, VAGA4=0, VAGA5=0, VAGA6=0;
float cmMsec, inMsec;
long microsec = ultrasonic.timing();
cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
//Exibe informacoes no serial monitor

```

```
Serial.print("Distancia em cm: ");  
Serial.print(cmMsec);  
delay(1000);  
  
if (x = 100)  
{  
Serial.print("\nVAGAS OCUPADAS: 1, 2 ,3");  
}  
delay(1000);  
}}
```